

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 27 JUL. 2004

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

**BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITE**

26bis, rue de Saint-Petersbourg
75800 Paris Cédex 08
Téléphone: 01 53.04.53.04 Télécopie: 01.42.94.86.54

Code de la propriété intellectuelle-livreVI

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

DATE DE REMISE DES PIÈCES: N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL: DÉPARTEMENT DE DÉPÔT: DATE DE DÉPÔT:	Jean LEHU BREVATOME 3, rue du Docteur Lancereaux 75008 PARIS France
Vos références pour ce dossier: B 14391 CS DD 2542	

1 NATURE DE LA DEMANDE			
Demande de brevet			
2 TITRE DE L'INVENTION			
MICRO-MIROIR ACTIONNABLE ELECTRIQUEMENT EN ROTATION			
3 DECLARATION DE PRIORITE OU REQUETE DU BENEFICE DE LA DATE DE DEPOT D'UNE DEMANDE ANTERIEURE FRANCAISE		Pays ou organisation	Date N°
4-1 DEMANDEUR			
Nom		COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE	
Rue		31-33, rue de la Fédération	
Code postal et ville		75752 PARIS 15ème	
Pays		France	
Nationalité		France	
Forme juridique		Etablissement Public de Caractère Scientifique, technique et Ind	
5A MANDATAIRE			
Nom		LEHU	
Prénom		Jean	
Qualité		Liste spéciale: 422-5 S/002, Pouvoir général: 7068	
Cabinet ou Société		BREVATOME	
Rue		3, rue du Docteur Lancereaux	
Code postal et ville		75008 PARIS	
N° de téléphone		01 53 83 94 00	
N° de télécopie		01 45 63 83 33	
Courrier électronique		brevets.patents@brevallex.com	
6 DOCUMENTS ET FICHIERS JOINTS		Fichier électronique	Pages Détails
Texte du brevet		textebrevet.pdf	51 D 42, R 8, AB 1
Dessins		dessins.pdf	11 page 11, figures 29, Abrégé: page 4, Fig.5
Désignation d'inventeurs			
Pouvoir général			



7 MODE DE PAIEMENT				
Mode de paiement		Prélèvement du compte courant		
Numéro du compte client		024		
8 RAPPORT DE RECHERCHE				
Etablissement immédiat				
9 REDEVANCES JOINTES	Devise	Taux	Quantité	Montant à payer
062 Dépôt	EURO	0.00	1.00	0.00
063 Rapport de recherche (R.R.)	EURO	320.00	1.00	320.00
068 Revendication à partir de la 11ème	EURO	15.00	21.00	315.00
Total à acquitter	EURO			635.00

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

Signé par
Signataire: FR, Brevatome, J.Lehu
Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0
Fonction
Mandataire agréé (Mandataire 1)



BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITE

Réception électronique d'une soumission

Il est certifié par la présente qu'une demande de brevet (ou de certificat d'utilité) a été reçue par le biais du dépôt électronique sécurisé de l'INPI. Après réception, un numéro d'enregistrement et une date de réception ont été attribués automatiquement.

Demande de brevet : X

Demande de CU :

DATE DE RECEPTION	8 septembre 2003
TYPE DE DEPOT	INPI (PARIS) - Dépôt électronique Dépôt en ligne: X Dépôt sur support CD:
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUE PAR L'INPI	0350508
Vos références pour ce dossier	B 14391 CS DD 2542

DEMANDEUR	
Nom ou dénomination sociale	COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
Nombre de demandeur(s)	1
Pays	FR

TITRE DE L'INVENTION
MICRO-MIROIR ACTIONNABLE ELECTRIQUEMENT EN ROTATION

DOCUMENTS ENVOYES		
package-data.xml	Requetefr.PDF	application-body.xml
Design.PDF	ValidLog.PDF	fee-sheet.xml
FR-office-specific-info.xml	Comment.PDF	textebrevet.pdf
dessins.pdf	Indication-blo-deposit.xml	request.xml

EFFECTUE PAR	
Effectué par:	J.Lehu
Date et heure de réception électronique:	8 septembre 2003 16:29:01
Empreinte officielle du dépôt	B0:57:E2:EC:59:97:E9:C6:A7:8B:1E:94:A5:A3:4C:BB:36:A4:7B:1C

/ INPI PARIS, Section Dépôt /

SIEGE SOCIAL
INSTITUT 26 bis, rue de Saint Petersburg
NATIONAL DE 75800 PARIS cedex 08
LA PROPRIETE Téléphone : 01 53 04 53 04
INDUSTRIELLE Télécopie : 01 42 83 59 30

MICRO-MIROIR ACTIONNABLE ELECTRIQUEMENT EN ROTATION**DESCRIPTION****DOMAINE TECHNIQUE**

5 La présente invention concerne un micro-miroir actionnable électriquement en rotation. Les micro-miroirs issus des techniques de micro-usinage de matériau semi-conducteur présentent un grand intérêt pour la déflexion d'un faisceau lumineux grâce à la
10 combinaison de leur rapidité, de leur précision, de leur faible consommation énergétique et de leur coût relativement faible.

De tels micro-miroirs peuvent fonctionner dans deux modes différents qui sont le mode statique ou
15 quasi statique et le mode oscillant. Ils comportent une partie mobile, généralement en forme de plateau, dotée d'une zone réfléchissante.

Dans le premier mode, la partie mobile peut prendre des positions dans lesquelles elle est inclinée
20 avec un angle fixe par rapport à une position de repos ou elle peut se déplacer en rotation, son mouvement ayant une fréquence très petite devant sa fréquence de résonance. Dans ce premier mode le faisceau lumineux réfléchi est pointé vers un dispositif utilisateur et
25 le domaine d'application est par exemple les systèmes de routage optique ou les systèmes de projection

phénomène de résonance mécanique. Le domaine d'application est par exemple les scanners dans les imprimantes ou les lecteurs de codes-barres. Dans ce mode de fonctionnement, les micro-miroirs peuvent également être utilisés dans de nouvelles applications telles les affichages par balayage de faisceau lumineux sur la rétine ou les microscopes confocaux endoscopiques.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

10. De tels micro-miroirs comportent classiquement une partie mobile, généralement en forme de plateau, dotée d'un plan principal et possédant au moins une zone réfléchissante, une partie fixe, des moyens de liaison de la partie mobile à la partie fixe
15 matérialisant un axe sensiblement parallèle au plan principal, des moyens de commande électrique de la rotation de la partie mobile autour de l'axe.

La qualité optique des micro-miroirs dépend essentiellement de la planéité de leur zone
20 réfléchissante. La partie mobile comporte généralement un plateau micro-usiné en matériau semi-conducteur formant la zone réfléchissante ou recouvert d'au moins une couche réfléchissante et éventuellement d'une couche de protection. Les déformations de surface
25 peuvent être induites par des éléments se trouvant sous la zone réfléchissante ou sous le plateau et qui sont bien souvent utilisés pour engendrer son déplacement comme des électrodes, les contraintes dans la ou les couches superficielles de la partie mobile (par exemple
30 la couche métallique réfléchissante ou la couche de

protection) et les déformations dynamiques qui se produisent pendant le déplacement de la partie mobile.

L'utilisation du silicium monocristallin d'épaisseur de quelques dizaines de micromètres permet
5 d'obtenir des parties mobiles ayant une planéité satisfaisante. Une telle gamme d'épaisseurs permet d'éviter les déformations engendrées par une accélération lors d'un mouvement ou par les contraintes apportées par la ou les couches superficielles.

10 La taille de la zone réfléchissante doit être suffisante pour limiter l'effet de diffraction du faisceau lumineux sur son ouverture. On utilise typiquement des micro-miroirs de plus de 500 micromètres d'envergure. Bien sûr de telles dimensions
15 ne sont pas limitatives, elles dépendent en fait de l'application.

Ces micro-miroirs sont donc destinés à se déplacer en rotation autour d'un axe sensiblement parallèle à leur plan principal. Deux ou plusieurs
20 micro-miroirs peuvent être utilisés dans un même montage pour défléchir plusieurs fois le faisceau lumineux.

On connaît des micro-miroirs actionnables en rotation par effet électrostatique comme celui
25 illustré aux figures 1A, 1B. La partie mobile 1 est montée sur un axe de rotation 2 matérialisé par deux bras de torsion 3 alignés issus de la partie mobile 1

et les micro-miroirs sont alignés de telle
manière que le faisceau lumineux réfléchi

est suspendue au-dessus de la partie fixe 4 par les bras de torsion 3. Des moyens de commande électrique 5 pour déplacer en rotation la partie mobile 1 sont prévus. Ils comportent une électrode mobile 5.1 et deux contre-électrodes fixes 5.2. La face de la partie mobile 1 qui se trouve face à la partie fixe 4 porte l'électrode mobile 5.1. L'autre face de la partie mobile 1 porte une zone réfléchissante 7. La partie fixe 4 porte les deux contre-électrodes 5.2, 5.2 qui font face à l'électrode mobile 5.1. Les moyens 5 pour commander le déplacement en rotation de la partie mobile 1 comportent également des moyens 5.4 d'adressage (matérialisés par des sources de tension) pour appliquer un signal d'adressage sous la forme d'une tension d'actionnement V1 ou V2 entre l'électrode mobile 5.1 et l'une ou l'autre des contre-électrodes 5.2, 5.3. Lors de l'application d'une telle tension d'actionnement V1 ou V2, une force d'attraction électrostatique $F(x)$ est générée et la partie mobile 1 se déplace en rotation autour de l'axe 2, l'électrode mobile 5.1 étant attirée par la contre-électrode 5.2 ou 5.3 qui a généré la différence de potentiel V1 ou V2.

Un problème posé par l'actionnement électrostatique est que la force de rappel élastique (non représentée), causée par les bras de torsion 3, qui s'oppose au déplacement de la partie mobile est linéaire alors que la force d'attraction électrostatique est quadratique. De plus, lorsque la partie mobile 1 a parcouru environ un tiers de la distance séparant, au repos, l'électrode mobile 5.1 de la contre-électrode 5.2 ou 5.3, la force d'attraction

prend le dessus et il se produit un phénomène de
plaquage brusque des électrodes lorsque la différence
de potentiel dépasse un certain seuil V_c ou tension de
« pull in » (littéralement tension seuil d'attraction).

5 Avant que la différence de potentiel n'atteigne la
tension de « pull in » la réponse de la partie mobile
(c'est à dire l'angle de rotation en fonction de la
tension) n'est pas linéaire, ce qui complique la
commande.

10 En conséquence, la course maîtrisée de
l'électrode mobile correspond à une distance largement
restreinte par rapport à la distance initiale séparant
l'électrode mobile 5.1 des contre-électrodes 5.2, 5.3
en position de repos. Ce phénomène limite le
15 débattement exploitable de la partie mobile 1. Un
faible espace au repos entre l'électrode mobile et les
contre-électrodes ne permettra qu'une mobilité avec un
angle très réduit, et l'aménagement d'un plus grand
espace au repos impliquerait l'utilisation d'une
20 tension d'actionnement très importante, ce qui n'est
pas souhaitable. De plus, le débattement de la partie
mobile est relativement limité.

Le document [1], dont les références se
trouvent en fin de description, montre un autre mode de
25 réalisation d'un micro-miroir rotatif apte à se
déplacer dans un seul sens lors de l'attraction entre
deux électrodes. Ce mode de réalisation est illustré

d'un axe de rotation 2 matérialisé par deux bras de torsion 3 dont les extrémités sont solidaires de la partie fixe 4 et qui sont issus de la partie mobile 1. La différence avec l'exemple précédent se situe au
5 niveau des moyens de commande électrique 5 de la rotation de la partie mobile 1. Les moyens de commande électrique 5 comportent une électrode mobile 50 issue de la partie mobile 1 et possédant une extrémité libre 50.1 et une électrode fixe 51 portée par la partie fixe
10 4, en regard de l'électrode mobile 50 en position de repos. L'électrode mobile 50 est solidaire d'un bord de la partie mobile 1. Les moyens de commande électrique 5 comprennent également des moyens d'adressage pour appliquer un signal d'adressage sous la forme d'une
15 tension d'actionnement entre l'électrode fixe 51 et l'électrode mobile 50. Ces moyens ne sont pas représentés pour ne pas surcharger les figures. L'électrode mobile 50 est relativement flexible, elle est destinée à venir se plaquer progressivement, depuis
20 son extrémité libre 50.1 sur l'électrode fixe 51. L'électrode mobile 50 est orientée sensiblement perpendiculairement par rapport à l'axe de rotation 2. Le phénomène de plaquage progressif entre l'électrode mobile 50 et l'électrode fixe 51 est connu sous la
25 dénomination d'« effet zipping ». Une couche électriquement isolante (non visible sur les figures) est généralement interposée entre l'électrode fixe 51 et l'électrode mobile 50 pour éviter l'apparition de courts-circuits. L'électrode mobile 50 comporte
30 généralement un corps 50.2 qui se termine par une amorce 50.3 au niveau de son extrémité libre 50.1. La

largeur de l'amorce 50.3 est plus grande que la largeur du corps 50.2 de l'électrode mobile 50.

Au repos l'électrode fixe 51 et l'électrode mobile 50 sont distantes l'une de l'autre. Lorsque les
5 moyens d'adressage appliquent un signal d'adressage à savoir une tension d'actionnement entre l'électrode mobile 50 et l'électrode fixe 51, tant que cette tension est inférieure à la tension seuil d'attraction V_c , l'électrode mobile 50 commence à se rapprocher de
10 l'électrode fixe 51. Lorsque la tension d'actionnement atteint la valeur V_c , une partie de l'électrode mobile 50 correspondant sensiblement à l'amorce 50.3 vient se coller sur l'électrode fixe 51. La partie mobile 1 s'incline d'un angle θ par rapport à la position
15 qu'elle avait au repos avant l'application de la tension d'actionnement. Cet angle est supérieur à un angle minimum θ_{min} dont la signification va être donnée plus loin. Plus la tension d'actionnement augmente entre les deux électrodes 50, 51 plus la longueur de
20 l'électrode mobile 50 plaquée sur l'électrode fixe 51 augmente et plus la partie mobile 1 du micro-miroir se déplace en rotation autour de l'axe 2. L'angle d'inclinaison θ de la partie mobile 1 et donc de la zone réfléchissante 7 est sensiblement proportionnel à
25 la tension d'actionnement appliquée entre électrode fixe 51 et électrode mobile 50. Lorsque la tension d'actionnement atteint la tension seuil d'attraction V_c , la partie mobile 1 vient se coller sur l'électrode fixe 51.

l'extrémité 50.1 de l'électrode mobile 50 juste plaquée sur l'électrode fixe 51. Cette tension V_d est inférieure à la tension V_c . Lorsque cette tension est appliquée, la partie mobile 1 est inclinée de l'angle θ_{min} . Quand la tension d'actionnement décroît en dessous de V_d , l'électrode mobile 50 se décolle de l'électrode fixe 51 et la partie mobile 1 reprend sa position de repos sensiblement horizontale. La figure 2C représente la courbe de réponse (angle de rotation θ en fonction de la tension d'actionnement V appliquée entre l'électrode fixe 51 et l'électrode mobile 50) d'un tel micro-miroir.

Par rapport à l'exemple précédent avec actionnement électrostatique classique, on peut réduire la tension d'actionnement pour un même angle de rotation. Il existe une bonne linéarité entre la tension d'actionnement et l'angle d'inclinaison de la partie mobile, ce qui permet d'obtenir aisément une orientation précise de la partie mobile. La force développée par le déplacement de la partie mobile est inversement proportionnelle au carré de la distance séparant l'électrode mobile de l'électrode fixe. Or cette distance est très petite au voisinage de la partie plaquée de l'électrode mobile. Cette force est donc très importante dans la plage d'utilisation du micro-miroir. Cette distance est au moins égale à l'épaisseur de la couche diélectrique recouvrant l'électrode fixe. Il est ainsi possible de faire tourner la partie mobile avec des angles de l'ordre de 10 degrés avec une tension modérée typiquement inférieure à environ 100 V. En position de repos,

l'électrode mobile ne doit pas être trop éloignée de l'électrode fixe (quelques micromètres à quelques dizaines de micromètres) pour limiter la tension d'actionnement, car la force électrostatique générée lors de l'application de la tension d'actionnement décroît rapidement lorsque la distance entre les deux électrodes augmente. Un premier inconvénient d'un tel dispositif est que la partie mobile ne peut pas se déplacer en rotation de part ou d'autre de la partie mobile. Un autre inconvénient de ce type d'actionnement est que la partie mobile ne peut pas prendre certaines orientations, ces orientations correspondent à des angles θ compris strictement entre 0 et θ_{\min} .

On peut remarquer sur les figures 2A, 2B, que l'axe de rotation 2 est décalé par rapport au centre géométrique de la partie mobile 1. Le décalage se fait de manière à le rapprocher de l'électrode mobile 50. Cette particularité permet d'augmenter le débattement de la partie mobile 1 tout en repoussant le moment où elle entre en butée avec la partie fixe 4 qui supporte l'électrode fixe 51. Mais, même avec cette particularité, la partie mobile 1 présente toujours un débattement limité. On a tendance alors à réduire la taille de la partie mobile 1, mais il faut trouver un compromis entre débattement et taille de la zone réfléchissante 7, cette dernière doit avoir une taille appropriée à la fonction optique qu'elle doit remplir.

Il est évident que la taille de la zone réfléchissante

doit être choisie en fonction de la fonction optique

qu'elle doit remplir.

risque d'introduire une composante verticale au mouvement du centre de la zone réfléchissante 7, ce qui peut donner un mouvement de translation latérale à un faisceau lumineux réfléchi résultant d'un faisceau
5 lumineux incident à cet endroit.

Des informations complémentaires sur les micro-miroirs utilisant des moyens d'actionnement à effet « zipping » peuvent être trouvées dans le document [2] dont les références sont également
10 précisées à la fin de la description. Dans ce document, des moyens de commande ont pour but de déformer le micro-miroir et non de le déplacer en rotation.

Il est également connu par le document [3] dont les références sont mentionnées en fin de
15 description, un micro-miroir dont les moyens de commande électrique de la rotation comportent plusieurs couples d'électrodes 7.1, 7.2 interdigitées prenant la forme de peignes. Dans un couple d'électrodes, l'une des électrodes 7.2 en peigne est solidaire de la partie
20 fixe 4. L'autre électrode 7.1 est solidaire via une charnière 8.1 d'un bras 8 qui est issu de la partie mobile 1. Ce bras 8 est parallèle au bras de torsion 3 solidaire de la partie fixe 4 qui contribue à matérialiser l'axe de rotation. Ce type d'actionnement
25 est très efficace dans le mode oscillant, grâce au phénomène de résonance mécanique, mais ne convient pas bien pour fonctionner dans le mode statique ou quasi statique. Dans le mode statique ou quasi statique, ce type d'actionnement est plus efficace que
30 l'actionnement électrostatique classique mais reste insuffisant pour obtenir de grands angles de rotation.

Le fait que l'électrode interdigitée mobile soit solidaire d'un bras 8 qui n'est pas le bras de torsion présente l'inconvénient d'éloigner l'électrode interdigitée de l'axe de rotation et donc de réduire le débattement maximal pour une tension d'actionnement donnée.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de proposer un micro-miroir apte à prendre une ou plusieurs positions statiques ou quasi statiques en rotation ne présentant pas les limitations et difficultés ci-dessus.

Plus précisément un but de l'invention est de fournir un micro-miroir susceptible de se mouvoir en rotation avec une amplitude importante et qui peut prendre une position fixe précise tout en conservant une tension d'actionnement réduite.

Un autre but de l'invention est de fournir un micro-miroir qui peut prendre un angle d'inclinaison compris dans une grande plage d'angles, cette plage étant continue et s'étendant de part et d'autre de sa position de repos correspondant à un angle d'inclinaison nul.

Un autre but de l'invention est de fournir un micro-miroir apte à prendre une position qui ne nécessite pas l'introduction d'une compensation mécanique ou électrostatique.

Un autre but de l'invention est de fournir un micro-miroir dont la partie mobile est de plus grande taille que dans les micro-miroirs classiques.

Pour y parvenir la présente invention propose un micro-miroir comprenant une partie mobile avec une zone réfléchissante, une partie fixe, des moyens de liaison de la partie mobile à la partie fixe matérialisant un axe de rotation contenu dans la partie mobile, sensiblement parallèle à un plan principal de la partie mobile, et des moyens de commande électrique de la rotation de la partie mobile autour de l'axe. Selon l'invention les moyens de commande électrique comportent deux actionneurs ou plus, formés chacun d'une électrode fixe solidaire de la partie fixe et d'une électrode mobile dotée d'une extrémité libre et d'une extrémité reliée à un bras d'entraînement sensiblement parallèle à l'axe et issu de la partie mobile, l'électrode mobile étant destinée à se plaquer sur l'électrode fixe depuis son extrémité libre lorsqu'une tension d'actionnement est appliquée entre les deux électrodes d'un des actionneurs, le plaquage se faisant sur une surface variable en fonction de la tension appliquée entre les électrodes de l'actionneur, les actionneurs étant disposés de part et d'autre de l'axe.

Ainsi la partie mobile peut se déplacer en rotation avec une amplitude maximale double de celle existant dans la configuration décrite dans le document [1]. Une amplitude supérieure à environ plus ou moins 10 degrés peut être obtenue soit plus de 20 degrés au total.

Les moyens de liaison de la partie mobile à la partie fixe peuvent être deux bras de torsion issus de la partie mobile dont les extrémités sont reliées à la partie fixe.

5 De manière avantageuse, l'axe peut passer par le centre géométrique de la partie mobile, ce qui évite d'introduire une composante verticale au mouvement de la zone centrale de la partie mobile.

10 Il est possible que, d'un même côté de la partie mobile, un bras d'entraînement soit décalé par rapport à un bras de torsion. Mais il est particulièrement avantageux pour augmenter le débattement qu'un bras de torsion et un bras d'entraînement soient dans le prolongement l'un de
15 l'autre.

Dans cette dernière configuration, pour conserver à la fois une souplesse en torsion et une rigidité en flexion verticale, il est préférable qu'au moins un bras de torsion ait une section transversale
20 inférieure à celle d'un bras d'entraînement.

Il est bien sûr possible qu'un bras de torsion et un bras d'entraînement situés dans le prolongement l'un de l'autre aient sensiblement une même section transversale, les deux bras sont alors
25 confondus.

Dans un mode de réalisation particulièrement efficace plusieurs électrodes actives sont prévues sur la partie fixe et la partie mobile.

Dans encore un autre mode de réalisation qui améliore la précision de la position prise par la partie mobile, plusieurs électrodes mobiles situées d'un même côté de l'axe sont reliées entre elles au
5 niveau de leur extrémité libre.

Pour rendre le micro-miroir plus compact, il est possible qu'une électrode mobile soit enroulée sur elle-même, son extrémité libre se trouvant dans une zone centrale de l'enroulement.

10 Une configuration d'électrode mobile rectiligne est également possible.

Une configuration d'électrode mobile qui permet de réduire la tension nécessaire pour obtenir le plaquage de l'électrode mobile sur l'électrode fixe
15 d'un actionneur est que l'électrode mobile comporte un corps de largeur sensiblement constante se prolongeant par une amorce au niveau de son extrémité libre, la largeur de l'amorce étant plus grande que celle du corps.

20 Il est possible que les électrodes fixes soient confondues, ce qui facilite la réalisation, dans cette configuration l'adressage se fait par les électrodes mobiles.

La partie fixe peut comporter une base et
25 des montants sur lesquels s'appuient les moyens de liaison de la partie mobile à la partie fixe, la partie mobile étant suspendue au-dessus de la base.

Pour augmenter le débattement de la partie mobile, la base peut comporter un évidement en regard
30 de la partie mobile qui est alors suspendue au-dessus de l'évidement.

Pour éviter des courts-circuits entre les électrodes des actionneurs, les électrodes fixes peuvent être recouvertes d'un matériau diélectrique.

Les moyens de commande peuvent comporter
5 des moyens d'adressage aptes à appliquer une tension d'actionnement aux électrodes mobiles et/ou aux électrodes fixes d'un actionneur.

La tension d'actionnement peut être une tension continue superposée à une tension de commande
10 variable.

Pour simplifier la commande de la rotation, il est possible qu'au moins une électrode fixe d'un actionneur soit morcelée en deux portions dont une portion d'extrémité, ces deux portions étant isolées
15 l'une de l'autre, les moyens d'adressage étant aptes à appliquer une tension continue à la portion d'extrémité et une tension de commande variable à l'autre portion.

La tension continue peut être une tension minimale pour maintenir un plaquage de l'extrémité
20 libre de l'électrode mobile de l'actionneur sur l'électrode fixe.

Lorsque la tension de commande appliquée à un actionneur situé d'un côté de l'axe est non nulle, la tension de commande appliquée en même temps à un
25 actionneur situé de l'autre côté de l'axe peut être nulle.

La présente invention concerne également un

.....

.....

fixe, d'une première région des moyens de liaison de la partie mobile à la partie fixe, d'une première région des bras d'entraînement dans une couche superficielle et une première couche isolante d'un substrat stratifié
5 comportant un empilement alterné d'une première et une seconde couches en matériau isolant et de deux couches semi-conductrices dont une est intermédiaire et l'autre superficielle,

b) dans un second substrat semi-conducteur
10 gravure d'une partie en retrait, ce second substrat contribuant à réaliser une seconde région de la partie fixe et les électrodes fixes des actionneurs,

c) assemblage des deux substrats, la partie en retrait étant face à la couche superficielle gravée,

15 d) gravure du contour des électrodes mobiles, d'une seconde région de la partie mobile, d'une seconde région des bras d'entraînement et d'une seconde région des moyens de liaison, dans la couche intermédiaire et réalisation au préalable de
20 métallisations reliées électriquement aux électrodes mobiles pour l'application de la tension d'actionnement de chaque actionneur via la partie fixe et la partie mobile.

Selon ce procédé, on peut réaliser des
25 tranchées d'isolation lors de l'étape a) dans la couche superficielle et dans la couche d'isolation supérieure au niveau de la première région de la partie fixe et de la première région de la partie mobile et dans la couche intermédiaire lors de l'étape d) au niveau des
30 électrodes mobiles et de la seconde région de la partie mobile pour assurer une isolation électrique des

électrodes mobiles lors de l'application de la tension d'actionnement vers une électrode mobile via la première région de la partie fixe et la première région de la partie mobile.

5 L'étape b) peut inclure la gravure de l'évidement dans une partie centrale de la partie en retrait.

L'étape b) peut être suivie d'une étape de réalisation d'une couche de matériau isolant sur le
10 second substrat gravé.

La seconde région de la partie mobile peut réaliser directement la zone réfléchissante ou une étape de métallisation de la seconde région de la partie mobile peut être prévue pour réaliser la zone
15 réfléchissante.

On peut après l'assemblage retirer la seconde couche isolante.

On choisit l'épaisseur de la couche superficielle plus grande que la couche intermédiaire
20 de manière à obtenir des caractéristiques de torsion convenables pour les bras de torsion.

Le premier substrat peut être avantageusement un double substrat SOI et comporter du côté de la seconde couche isolante une couche semi-conductrice de base qui est ôtée après l'assemblage des
25 deux substrats.

~~PROCES DE FABRICATION DES MEMS~~

limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

Les figures 1A, 1B (déjà décrites) montrent une vue en coupe et une vue en trois dimensions d'un
5 micro-miroir de l'art antérieur actionnable en rotation de manière électrostatique ;

Les figures 2A, 2B (déjà décrites) montrent une vue en trois dimensions et une vue de dessus d'un
10 micro-miroir de l'art antérieur actionnable en rotation par effet « zipping » et la figure 2C illustre l'angle d'inclinaison de la partie mobile du micro-miroir en fonction de la tension appliquée ;

La figure 3 (déjà décrite) est une vue de dessus d'un micro-miroir actionnable en rotation à
15 l'aide d'électrodes interdigitées en peigne ;

La figure 4 est une vue de dessus d'un exemple de micro-miroir selon l'invention ;

Les figures 5A, 5B illustrent une vue de dessus et une vue en coupe d'un autre exemple de micro-
20 miroir selon l'invention ;

Les figures 6A, 6B sont des coupes du micro-miroir des figures 5, destinées à expliquer un premier mode de fonctionnement, et la figure 6C représente la variation de l'angle d'inclinaison de la
25 partie mobile du micro-miroir en fonction de la tension appliquée dans ce mode de fonctionnement ;

La figure 7 est une coupe du micro-miroir des figures 5 destinée à expliquer un second mode de fonctionnement ;

30 La figure 8A est une coupe du micro-miroir des figures 5 destinée à expliquer une variante du

second mode de fonctionnement et la figure 8B représente la variation de l'angle d'inclinaison de la partie mobile du micro-miroir en fonction de la tension appliquée dans ce mode de fonctionnement ;

5 La figure 9 est une vue de dessus partielle d'un autre exemple de micro-miroir selon l'invention avec des électrodes mobiles enroulées ;

La figure 10 est une vue de dessus partielle d'un autre exemple de micro-miroir selon
10 l'invention dans lequel les extrémités libres des électrodes mobiles des actionneurs situés d'un même côté de l'axe sont communes ;

Les figures 11A à 11L représentent des étapes d'un exemple de procédé de réalisation d'un
15 micro-miroir selon l'invention.

Les différentes variantes doivent être comprises comme n'étant pas exclusives les unes des autres.

Des parties identiques, similaires ou
20 équivalentes des différentes figures portent les mêmes références numériques de façon à faciliter le passage d'une figure à l'autre.

Les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas nécessairement selon une
25 échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

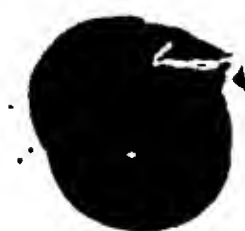
~~LE BREVET DE PATENTE DE L'INVENTION EST DÉPOSÉ~~

INVENTEUR

ADRESSE

DATE

10 et une partie fixe 14. La partie mobile 10 prend globalement la forme d'un plateau. Elle est destinée à être déplacée en rotation autour d'un axe 12. L'axe passe par la partie mobile 10 et est sensiblement
5 parallèle à un plan principal de la partie mobile 10. Des moyens de liaison 13 de la partie mobile 10 à la partie fixe 14 matérialisent cet axe 12. Ces moyens de liaison peuvent prendre la forme de deux bras torsion 13 issus de la partie mobile 10 et qui ont une
10 extrémité 11 solidaire (par exemple par encastrement) de la partie fixe 14 au niveau de montants 15. Les deux bras de torsion 13 sont dans le prolongement l'un de l'autre. Les montants 15 de la partie fixe 14 reposent sur une base 16 qui s'étend sous la partie mobile 10.
15 La partie mobile 10 est ainsi suspendue au-dessus de la partie fixe 14 au niveau de sa base 16. La partie mobile 10 comporte des faces principales dont une est tournée vers la partie fixe 14 au niveau de sa base 16 et dont l'autre est dotée d'une zone réfléchissante 17
20 (hachurée) destinée à réfléchir de la lumière. La zone réfléchissante 17 est représentée comme n'occupant que partiellement la face de la partie mobile 10 mais elle pourrait l'occuper totalement. L'axe 12 peut passer par le centre géométrique de la partie mobile 10.
25 Le micro-miroir comporte également des moyens de commande 18 électrique du déplacement en rotation de la partie mobile 10. Ces moyens 18 comportent au moins deux actionneurs 19 à « effet zipping » et des moyens d'adressage (non visibles sur
30 la figure 4) de ces actionneurs.



Par actionneur 19 à « effet zipping », on entend un actionneur formé d'un couple d'électrodes 20, 21 avec une électrode fixe 20 et une électrode mobile 21 ayant une extrémité libre 21.1, l'électrode mobile 21 étant destinée à venir se plaquer sur l'électrode fixe 20 depuis son extrémité libre 21.1, le plaquage se faisant sur une surface variable en fonction d'une tension appliquée entre les deux électrodes. L'électrode mobile 21 est donc flexible.

10 L'électrode fixe 20 des actionneurs 19 est solidaire de la partie fixe 14 au niveau de la base 16. Elle n'est pas visible sur la figure 4, elle est cachée par l'électrode mobile 21. Elle est visible sur la figure 5B. L'électrode mobile 21 des actionneurs 19 est
15 solidaire à son autre extrémité d'un bras d'entraînement 23 qui est issu de la partie mobile 10 et qui est dirigé sensiblement parallèlement à l'axe de rotation 12. Ce bras d'entraînement 23 est suffisamment rigide. Ainsi l'électrode mobile 21 n'est plus
20 directement fixée à la partie mobile 10 comme dans les exemples des figures 2, elle en est décalée.

Selon une caractéristique importante, les extrémités libres 21.1 des électrodes mobiles 21 des deux actionneurs 19 sont situées de part et d'autre de
25 l'axe de rotation 12. Les actionneurs 19 sont donc disposés de part et d'autre de l'axe 12. Ainsi, chacun des actionneurs 19 peut entraîner la partie mobile 10

... ..

être obtenus avec une tension d'actionnement typiquement inférieure à 100V.

Les actionneurs 19 peuvent être adressés ou actionnés soit séparément ou soit simultanément comme
5 ont le verra ultérieurement.

La partie mobile 10 peut avoir une envergure comprise entre quelques centaines de micromètres et quelques millimètres et une épaisseur d'environ quelques dizaines de micromètres. Il faut
10 qu'elle possède une rigidité suffisante pour que la zone réfléchissante 17 qu'elle porte reste la plus plane possible de manière à conserver sa qualité optique quelles que soient les conditions et notamment lors d'accéléérations. Ces dimensions ne sont pas
15 limitatives bien entendu.

L'électrode mobile 21 peut prendre la forme depuis le bras d'entraînement 23, d'un corps 21.2 sensiblement rectiligne de largeur sensiblement constante se terminant au niveau de son extrémité libre
20 21.1 par une partie d'extrémité 21.3 qui peut être de même largeur que le corps 21.2 ou de manière avantageuse qui peut être plus large. Dans ce dernier cas la partie d'extrémité 21.3 peut être qualifiée d'amorce. Cette amorce 21.3 est visible sur la figure
25 5A. Quant à l'électrode fixe 20, elle peut avoir une forme quelconque dans la mesure où l'électrode mobile 21 peut se plaquer sur elle.

L'amorce 21.3 sert à réduire la tension seuil d'attraction V_c ainsi que la tension seuil de
30 décollement V_d .

Lorsque l'actionneur est au repos, il n'est soumis à aucune tension d'actionnement. Ses électrodes mobile et fixe 20, 21 sont séparées par un espace 25 qui peut être plein d'un gaz (air ou autre) ou qui peut
5 être vide. Cet espace inter-électrode 25 est illustré sur la figure 5B. Cet espace 25 peut être délimité par une cavité que contribuent à former les montants prenant la forme d'un cadre comme on le verra plus loin.

10 Il est préférable placer dans cet espace 25 une couche de matériau diélectrique 24 interposée entre les électrodes fixes 20 et les électrodes mobiles 21 pour éviter un court-circuit lorsqu'une électrode mobile 21 vient en contact avec une électrode fixe 20.
15 Cette couche diélectrique 24 est visible sur la figure 5B, elle recouvre les électrodes fixes 20. L'épaisseur de la couche diélectrique 24 est comprise entre une valeur minimale et une valeur maximale. La valeur minimale est déterminée par le claquage de l'isolant
20 soumis à un champ électrique généré par une tension d'actionnement donnée, appliquée entre les deux électrodes d'un actionneur. La valeur maximale est déterminée par la distance maximale selon laquelle les deux électrodes d'un actionneur peuvent se trouver
25 lorsque la partie mobile 10 est dans la position de repos sans que la force d'attraction ne soit trop faible pour une tension d'actionnement donnée. Par

matériau semi-conducteur, le silicium par exemple) sera d'environ 0,2 micromètre.

A titre indicatif, l'électrode mobile 21 peut avoir une longueur comprise entre quelques dizaines de micromètres et quelques millimètres, une épaisseur comprise entre quelques dixièmes de micromètres et quelques micromètres, et une largeur de corps 21.2 très supérieure à son épaisseur. L'épaisseur rend l'électrode mobile 21 suffisamment flexible dans une direction sensiblement perpendiculaire à la surface de la base 16. S'il y a une amorce 21.3, cette dernière est plus grande que la largeur du corps 21.2. Au repos, l'espace 25 inter-électrode peut être d'environ quelques micromètres à quelques dizaines de micromètres.

Il est avantageux que la base 16 comporte en regard de la partie mobile 10 un évidement 26. La partie mobile 10 est susceptible de pénétrer dans l'évidement 26 lorsque la partie mobile 10 prend une position inclinée avec un angle important. La prise d'une position inclinée avec un tel angle d'inclinaison ne serait pas possible en l'absence de l'évidement 26 car la partie mobile 10 heurterait la base 16. Les électrodes fixes 20 sont situées sur la base 16 à l'extérieur de l'évidement 26 de manière à conserver l'espace inter-électrode 25 relativement faible en position de repos des actionneurs. La profondeur de l'évidement est choisie suffisante pour que la partie mobile puisse s'incliner d'un angle θ_{\max} sans heurter la base 16. L'angle θ_{\max} correspond à l'angle maximum pris par la partie mobile lorsque les moyens

d'adressage (décrits ultérieurement) délivrent une tension d'actionnement maximale.

L'évidement 26 peut être un trou traversant la base 16 ou seulement un trou borgne dans la base 16. 5 S'il s'agit d'un trou traversant, il peut être réalisé à partir de la face de la base 16 destinée à recevoir les électrodes fixes 20, (cette face est dite face avant) ou à partir de l'autre face de la base 16 qui est dite face arrière. Cet évidement 26 sera plutôt 10 réalisé par une gravure humide qu'une gravure sèche dans le matériau de la base 16 qui est généralement un matériau semi-conducteur.

Il est possible que les montants supportant les bras de torsion 13 prennent la forme d'un cadre 15 15.1 qui entoure la partie mobile 10 et les actionneurs 19 et qui est solidaire de la base 16. Cette variante est représentée sur les figures 5A et 5B. Ce cadre 15.1 peut contribuer à délimiter une cavité. On préfère limiter la surface occupée par cette cavité de manière 20 à faciliter une étape de scellement de deux substrats, qui sera décrite ultérieurement lors de la description d'un exemple de procédé de réalisation d'un micro-miroir selon l'invention.

Les bras d'entraînement 23 peuvent être 25 distincts des bras de torsion 13 comme sur la figure 4. Dans cette configuration un bras de torsion et un bras d'entraînement situés d'un même côté de la partie

11111 1111 11111 1111 11111 1111 11111

bras de torsion 13 qui le prolonge. Par la suite, sauf indication particulière, on considère qu'un bras d'entraînement 23 et un bras de torsion 13 sont dans le prolongement l'un de l'autre.

5 Il est préférable que le raccordement des électrodes mobiles 21 aux bras d'entraînement 23 se fasse le plus près possible de l'axe de rotation 12 de manière à autoriser un grand débattement de la partie mobile 10 tout en conservant l'espace inter-électrode
10 25 des actionneurs 19 relativement faible.

Les actionneurs 19 peuvent être situés de part et d'autre de la partie mobile 10, mais ce n'est pas une obligation, on pourrait envisager d'avoir seulement une paire d'actionneurs 19 avec les
15 actionneurs 19 situés d'un même côté de la partie mobile 10. En se référant à la figure 5A, on pourrait n'avoir que deux des quatre actionneurs représentés, par exemple ceux qui correspondent à la coupe de la figure 5B.

20 Sur les figures 6A, 6B et suivantes, les bras de torsion 13 sont dans le prolongement des bras d'entraînement 23. En pratique, un bras de torsion 13 a une section transversale inférieure à celle d'un bras d'entraînement 23, cette section transversale lui
25 confère une certaine souplesse en torsion. Le bras d'entraînement 23 a une section transversale plus importante pour rester rigide lors de l'entraînement.

Ainsi le dimensionnement des bras de torsion 13 peut être optimisé de manière à ce qu'ils
30 soient suffisamment souples en torsion et suffisamment raides en flexion verticale. Ils sont de manière

avantageuse relativement épais et leur largeur sera inférieure à leur épaisseur. Si le bras de torsion 13 n'est pas suffisamment rigide en flexion verticale, l'actionneur 19 aura tendance à tirer la partie mobile 5 10 vers le bas plutôt qu'à l'entraîner en rotation. Le mouvement de la partie mobile 10 risque alors de ne pas être une pure rotation, ce qui peut donner un mouvement de translation latérale à un faisceau lumineux réfléchi résultant d'un faisceau lumineux incident sur la zone 10 réfléchissante 17.

On va donner maintenant des explications sur le fonctionnement d'un tel micro-miroir actionnable en rotation autour d'un axe.

On se réfère aux figures 6A, 6B et au 15 graphique de la figure 6C. On suppose que dans ce premier mode de fonctionnement, les actionneurs 19 situés de part et d'autre de l'axe 12 sont actionnés séparément. Des moyens d'adressage 27 actionnent soit un ou plusieurs actionneurs situés d'un côté de l'axe 20 12, soit un ou plusieurs actionneurs situés de l'autre côté de l'axe 19.

Au repos la partie mobile 10 est dans une position sensiblement horizontale (angle d'inclinaison θ nul) et les moyens d'adressage 27 n'appliquent aucune 25 tension d'actionnement sur les électrodes 20, 21 de ces actionneurs 19. Les actionneurs 19 ne sont pas adressés. On peut se référer à la figure 6C. Il y a

Lorsque les moyens d'adressage 27 commencent à appliquer un premier signal d'adressage à savoir une tension d'actionnement V_1 entre les deux électrodes fixe 20 et mobile 21 de l'un des actionneurs 5 19 (ou de plusieurs actionneurs situés d'un même côté de l'axe 12) placé à droite sur les figures illustrant cet exemple de fonctionnement, il ne se passe rien avant que la tension V_1 ait atteint la tension seuil d'attraction V_c . A ce moment l'extrémité libre 21.1 de 10 l'électrode mobile 21 vient se plaquer sur l'électrode fixe 20 qui lui fait face. On provoque ainsi le collage des deux électrodes par leurs bouts. L'actionneur 19 sollicite le bras d'entraînement 23 vers la droite. Dans cet état la partie mobile 10 et donc la zone 15 réfléchissante 17 a tourné brusquement d'un angle θ supérieur à $+\theta_{min}$ ($+\theta_{min}$ représente l'angle minimal d'inclinaison pris par la partie mobile 10 par rapport à sa position de repos). En augmentant la tension d'actionnement V_1 , l'électrode mobile 21 se plaque de 20 plus en plus sur l'électrode fixe 20. Il y a propagation du plaquage en direction du bras d'entraînement 23. La surface de plaquage se rapproche du bras d'entraînement 23. La partie mobile 10 s'incline de plus en plus jusqu'à atteindre un angle 25 $+\theta_{max}$ qui correspond, dans un cas favorable, à une position dans laquelle toute l'électrode mobile 21 est plaquée sur l'électrode fixe 20 si la partie mobile 10 ne heurte pas avant le fond de l'évidement 26. L'angle θ_{max} correspond dans le meilleur cas à l'angle pris par 30 la partie mobile lorsque les moyens d'adressage appliquent la tension d'adressage maximale. Comme

Lorsque les moyens d'adressage 27 appliquent un second signal d'adressage pour actionner le et/ou les autres actionneurs 19 situés de l'autre
20 côté de l'axe 12 (à gauche sur les figures) à savoir une tension d'actionnement V2 (non représentée) la partie mobile 10 s'incline en sens inverse. L'inclinaison se fait à partir d'un angle θ supérieur à $-\theta_{\min}$ jusqu'à un angle $-\theta_{\max}$ plus on augmente la
25 tension d'actionnement V2. A l'inverse, lorsqu'on diminue la tension d'actionnement V2 l'angle

1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 26

trouvant dans ces plages. Par contre la plage d'angles $[-\theta_{\min}, +\theta_{\min}]$ ne peut être explorée. On ne peut obtenir un balayage continu de la partie mobile 10 dans la plage d'angles $[-\theta_{\min}, +\theta_{\min}]$. Cette dernière plage n'est pas exploitable pour la partie mobile 10. Dans ce mode de fonctionnement V1 et V2 ne sont jamais différentes de zéro ensemble. Pour une tension d'actionnement non nulle mais inférieure à la tension seuil d'attraction V_c , les électrodes d'un actionneur commencent à se rapprocher, l'inclinaison de la partie mobile est faible mais non nulle. Il serait bien sûr possible que les moyens d'adressage 27 actionnent simultanément des actionneurs 19 qui se trouvent de part et d'autre de l'axe 12.

On se réfère à la figure 7 qui montre un second mode de fonctionnement du micro-miroir selon l'invention.

Les moyens d'adressage 27 appliquent maintenant une première tension d'actionnement V1 aux électrodes 20, 21 d'un ou plusieurs actionneurs 19 situés d'un côté de l'axe 12 (dans l'exemple à droite) et simultanément une seconde tension d'actionnement V2 aux électrodes 20, 21 d'un ou plusieurs actionneurs 19 situés de l'autre côté de l'axe 12 (par exemple à gauche). En choisissant convenablement les valeurs de ces tensions d'actionnement V1, V2, on peut faire prendre à la partie mobile 10 toutes les inclinaisons possibles comprises dans la plage d'angle $[-\theta_{\max}, +\theta_{\max}]$. En faisant varier ces tensions V1 et V2 dans le temps, la partie mobile 10 peut être animée d'un mouvement de balayage en rotation entre $-\theta_{\max}$, $+\theta_{\max}$.

Pour faciliter le réglage de la position ou du mouvement de la partie mobile 10, il est possible que les moyens d'adressage 27 appliquent en permanence une tension continue V_0 non nulle aux actionneurs 19
 5 cette tension V_0 étant superposée à une tension de commande V_1' ou V_2' qui peut varier dans le temps et qui peut s'annuler. La tension continue V_0 est la tension minimale qui maintient le plaquage de l'électrode mobile 21 contre l'électrode fixe 20. Elle
 10 est supérieure à la tension seuil de décollement V_d On obtient alors :

$$V_1 = V_0 + V_1'$$

$$V_2 = V_0 + V_2'$$

$$V_1' \neq 0 \text{ avec } V_2' = 0 \text{ et } V_2' \neq 0 \text{ et } V_1' = 0.$$

15 Les tensions de commande V_1' et V_2' ne sont jamais nulles en même temps. Supposons que l'on veuille faire tourner la partie mobile vers la droite. Si V_1' est non nulle, le collage de l'électrode mobile se propage à droite et la partie mobile tourne vers la
 20 droite. Mais si en même temps, V_2' est aussi non nulle le collage va aussi se propager à gauche ce qui s'oppose à la rotation de la partie mobile vers la droite. Les tensions de commande V_1' et V_2' peuvent être indifféremment positives ou négatives.

25 Les moyens d'adressage 27 des actionneurs 19 peuvent agir soit au niveau des électrodes fixes 20, soit au niveau des électrodes mobiles 21 soit encore au

se trouvant de l'autre côté de l'axe, cela implique que les électrodes fixes 20 ou mobiles 21 situées d'un côté de l'axe 12 soient isolées électriquement de celles situées de l'autre côté de l'axe 12. Cette isolation
5 peut se faire de manière classique par dépôts de pistes conductrices distinctes sans liaison, par des tranchées d'isolation, par exemple des tranchées d'air ou des tranchées remplies d'un matériau diélectrique dans des zones conductrices, par implantation ionique de zones
10 de dopage opposé à celui du substrat dans lequel ces zones sont implantées.

Si ce sont les électrodes fixes 20 qui sont adressées, des pistes conductrices les rejoignant peuvent être réalisées sur la base (non représentées),
15 sous la couche diélectrique 24, les électrodes mobiles 21 étant conservées à un même potentiel (généralement le potentiel de masse).

Si ce sont les électrodes mobiles 21 qui sont adressées, toutes les électrodes fixes 20 peuvent
20 être maintenues à un même potentiel. Dans ce cas, les électrodes fixes 20 peuvent être confondues et ne former qu'une unique électrode fixe comme on le verra plus loin.

Dans le cas où l'adressage se fait à partir
25 des électrodes fixes 20, il est possible de morceler les électrodes fixes 20 en deux portions distinctes isolées électriquement l'une de l'autre. La première portion 20.1 correspondant à la partie sur laquelle l'extrémité libre 21.1 (ou l'amorce 21.3) de
30 l'électrode mobile 21 doit venir se plaquer lorsqu'on lui applique la tension continue V_0 supérieure à la

tension seuil de décollement V_d comme expliqué précédemment. Elle maintient l'extrémité libre 21.1 de l'électrode mobile 21 collée sur l'électrode fixe 20. La seconde portion 20.2 correspondant à la partie sur laquelle le corps 21.2 de l'électrode mobile 21 doit venir se plaquer. On lui applique la tension de commande $V1'$ ou $V2'$ selon qu'elle se trouve d'un côté ou de l'autre de l'axe 12. Cette variante est illustrée sur la figure 8A. Cette structure a pour avantage, par rapport à la configuration de la figure 7, de simplifier le fonctionnement des moyens d'adressage 27. Il est inutile de superposer la tension continue V_0 à la tension de commande $V1'$ ou $V2'$.

Par rapport aux exemples des figures 2, on
15 a doublé l'amplitude du déplacement de la partie mobile
10. La figure 8B représente la courbe de réponse (angle
de rotation θ en fonction des tensions d'actionnement
 $V1'$ et $V2'$ appliquées aux actionneurs de droite et de
gauche respectivement du micro-miroir représenté à la
20 figure 8A. La variation de l'angle d'inclinaison est
linéaire et continue entre $-\theta_{max}$, $+\theta_{max}$.

Dans les deux exemples décrits, il serait bien sûr possible que les moyens d'adressage 27 actionnent simultanément des actionneurs 19 qui se trouvent de part et d'autre de l'axe 12, les tensions de commande V1' et V2' seraient non nulles toutes les fois qu'il y a des courants.

• • • • •

• ~~_____~~ _____

• • •

réfléchissante sans à avoir à augmenter la tension d'actionnement.

Un tel micro-miroir est particulièrement bien adapté à une utilisation en mode statique ou quasi statique de fréquence très inférieure à la fréquence de résonance mécanique avec une grande amplitude. Toutefois une utilisation en mode résonant est possible si les tensions d'actionnement des actionneurs sont alternatives (par exemple sinusoïdales) sensiblement à la fréquence de résonance.

On peut maintenant se référer à la figure 9 qui montre une variante de configuration pour les électrodes fixe 20 et mobile 21 d'un actionneur 19 d'un micro-miroir. Au lieu que l'électrode mobile 21 comporte un corps 21.2 rectiligne avec éventuellement en bout une amorce 21.3, il est possible que l'électrode soit enroulée sur elle-même sensiblement en spirale, l'extrémité libre 21.1 ou l'amorce 21.3, si elle existe, se trouvant sensiblement au centre de l'enroulement. Cette variante est illustrée sur la figure 9. Le micro-miroir est ainsi plus compact qu'avec des électrodes mobiles 21 rectilignes.

Dans le but de simplifier l'adressage des actionneurs et d'améliorer la compacité du micro-miroir, il est possible que deux ou plusieurs électrodes mobiles 21 appartenant à des actionneurs 19 situés d'un même côté de l'axe 12 aient leur extrémité libre 21.1 en commun, qu'elles possèdent une amorce 21.3 ou non. Cette variante est représentée sur la figure 10. Cette configuration a pour avantage de

garantir un plaquage exactement au même instant des actionneurs 19 correspondants.

On va maintenant décrire un exemple de procédé de réalisation d'un micro-miroir selon l'invention. On suppose que les moyens d'adressage appliquent des tensions appropriées sur les électrodes mobiles des actionneurs pour déplacer en rotation la partie mobile tandis que les électrodes fixes sont portées à une tension constante (généralement la masse). On se réfère aux figures 11A à 11L. On suppose que les substrats semi-conducteurs sont conducteurs.

On utilise un premier substrat 100 formé d'une couche de base 101 en matériau semi-conducteur, par exemple en silicium, recouverte d'un sandwich 102 formé par deux couches isolantes 102.1, 102.2 (par exemple en oxyde de silicium) situées de part et d'autre d'une couche intermédiaire 102.3 en matériau semi-conducteur (par exemple en silicium), le sandwich 102 étant lui-même recouvert par une couche superficielle 103 en matériau semi-conducteur (par exemple en silicium). Ce substrat est illustré sur la figure 11A. La couche isolante référencée 102.1 est la couche inférieure du sandwich et la couche 102.2 est la couche supérieure du sandwich. Un tel substrat 100 peut être un double substrat SOI (pour Silicon on Insulator abréviation anglo-saxonne de silicium sur isolant). La couche superficielle 103 est plus épaisse que la couche intermédiaire 102.3. Les couches 101, 102.1, 102.2, 102.3, 103 sont des couches de matériau semi-conducteur.

On suppose que dans cet exemple, le micro-miroir est similaire à celui des figures 5A, 5B, les bras d'entraînement et de torsion sont bout à bout.

On commence par délimiter par une étape de photolithographie le motif d'une première région de la partie fixe 14 à savoir le cadre 15.1 ou les montants, d'une première région de la partie mobile 10, d'une première région des bras de torsion 13 et d'entraînement 23. On grave ensuite ces différents éléments dans la couche superficielle 103 et dans la couche isolante supérieure 102.2 (figure 11B). Cette étape de gravure peut être une étape de gravure sèche. Les premières régions sont donc formées du matériau semi-conducteur de la couche superficielle et du matériau de la couche isolante supérieure.

Les électrodes mobiles des actionneurs seront réalisées elles dans la couche intermédiaire 102.3 ultérieurement.

Les bras de torsion, le cadre et la partie mobile vont servir à acheminer les signaux d'adressage aux électrodes mobiles des actionneurs. Ces signaux d'adressage se propagent dans le cadre et les bras de torsion depuis des plots de contact portés par le cadre et réalisés ultérieurement. Un des bras de torsion va servir pour l'adressage des actionneurs situés d'un côté de l'axe et l'autre bras de torsion pour l'adressage des actionneurs situés de l'autre côté de l'axe. Pour que les signaux d'adressage destinés aux électrodes mobiles situées d'un côté de l'axe ne se propagent pas aux électrodes mobiles situées de l'autre côté de l'axe qui elles doivent recevoir d'autres

signaux d'adressage, on réalise, dans la couche superficielle 103 et aussi dans la couche isolante supérieure 102.2 (figure 11C), des tranchées d'isolation 104 au niveau du cadre 15.1 et une tranchée
5 d'isolation 106 au niveau de la première région de la partie mobile 10. Ces tranchées peuvent être des tranchées d'air ou être ultérieurement emplies de matériau diélectrique. Si au lieu d'avoir un cadre, on prévoit deux montants comme sur la figure 4, ces
10 derniers sont électriquement isolés de par leur configuration. Les tranchées d'isolation 104 découpent le cadre 15.1 en deux parties 105.1, 105.2, l'une 105.1 devant porter un des plots de contact transmettant un des signaux d'adressage et l'autre partie 105.2 devant
15 porter l'autre plot de contact transmettant l'autre signal d'adressage. Les plots ne sont pas visibles à cette étape (figure 11C). De la même manière, la couche superficielle 103 correspondant à la première région de la partie mobile 10 est séparée en deux parties 107.1,
20 107.2 par la tranchée d'isolation 106. L'un des bras de torsion est issu de l'une des parties 107.1 et l'autre de l'autre partie 107.2. La tranchée d'isolation 106 est dirigée dans sa majorité selon l'axe de rotation 12. La tranchée d'isolation 106 est visible sur la
25 figure 11C.

Dans un second substrat semi-conducteur 200 (par exemple en silicium) qui va servir de seconde
210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 1040 1041 1042 1043 1044 1045 1046 1047 1048 1049 1050 1051 1052 1053 1054 1055 1056 1057 1058 1059 1060 1061 1062 1063 1064 1065 1066 1067 1068 1069 1070 1071 1072 1073 1074 1075 1076 1077 1078 1079 1080 1081 1082 1083 1084 1085 1086 1087 1088 1089 1090 1091 1092 1093 1094 1095 1096 1097 1098 1099 1100 1101 1102 1103 1104 1105 1106 1107 1108 1109 1110 1111 1112 1113 1114 1115 1116 1117 1118 1119 1120 1121 1122 1123 1124 1125 1126 1127 1128 1129 1130 1131 1132 1133 1134 1135 1136 1137 1138 1139 1140 1141 1142 1143 1144 1145 1146 1147 1148 1149 1150 1151 1152 1153 1154 1155 1156 1157 1158 1159 1160 1161 1162 1163 1164 1165 1166 1167 1168 1169 1170 1171 1172 1173 1174 1175 1176 1177 1178 1179 1180 1181 1182 1183 1184 1185 1186 1187 1188 1189 1190 1191 1192 1193 1194 1195 1196 1197 1198 1199 1200 1201 1202 1203 1204 1205 1206 1207 1208 1209 1210 1211 1212 1213 1214 1215 1216 1217 1218 1219 1220 1221 1222 1223 1224 1225 1226 1227 1228 1229 1230 1231 1232 1233 1234 1235 1236 1237 1238 1239 1240 1241 1242 1243 1244 1245 1246 1247 1248 1249 1250 1251 1252 1253 1254 1255 1256 1257 1258 1259 1260 1261 1262 1263 1264 1265 1266 1267 1268 1269 1270 1271 1272 1273 1274 1275 1276 1277 1278 1279 1280 1281 1282 1283 1284 1285 1286 1287 1288 1289 1290 1291 1292 1293 1294 1295 1296 1297 1298 1299 1300 1301 1302 1303 1304 1305 1306 1307 1308 1309 1310 1311 1312 1313 1314 1315 1316 1317 1318 1319 1320 1321 1322 1323 1324 1325 1326 1327 1328 1329 1330 1331 1332 1333 1334 1335 1336 1337 1338 1339 1340 1341 1342 1343 1344 1345 1346 1347 1348 1349 1350 1351 1352 1353 1354 1355 1356 1357 1358 1359 1360 1361 1362 1363 1364 1365 1366 1367 1368 1369 1370 1371 1372 1373 1374 1375 1376 1377 1378 1379 1380 1381 1382 1383 1384 1385 1386 1387 1388 1389 1390 1391 1392 1393 1394 1395 1396 1397 1398 1399 1400 1401 1402 1403 1404 1405 1406 1407 1408 1409 1410 1411 1412 1413 1414 1415 1416 1417 1418 1419 1420 1421 1422 1423 1424 1425 1426 1427 1428 1429 1430 1431 1432 1433 1434 1435 1436 1437 1438 1439 1440 1441 1442 1443 1444 1445 1446 1447 1448 1449 1450 1451 1452 1453 1454 1455 1456 1457 1458 1459 1460 1461 1462 1463 1464 1465 1466 1467 1468 1469 1470 1471 1472 1473 1474 1475 1476 1477 1478 1479 1480 1481 1482 1483 1484 1485 1486 1487 1488 1489 1490 1491 1492 1493 1494 1495 1496 1497 1498 1499 1500 1501 1502 1503 1504 1505 1506 1507 1508 1509 1510 1511 1512 1513 1514 1515 1516 1517 1518 1519 1520 1521 1522 1523 1524 1525 1526 1527 1528 1529 1530 1531 1532 1533 1534 1535 1536 1537 1538 1539 1540 1541 1542 1543 1544 1545 1546 1547 1548 1549 1550 1551 1552 1553 1554 1555 1556 1557 1558 1559 1560 1561 1562 1563 1564 1565 1566 1567 1568 1569 1570 1571 1572 1573 1574 1575 1576 1577 1578 1579 1580 1581 1582 1583 1584 1585 1586 1587 1588 1589 1590 1591 1592 1593 1594 1595 1596 1597 1598 1599 1600 1601 1602 1603 1604 1605 1606 1607 1608 1609 1610 1611 1612 1613 1614 1615 1616 1617 1618 1619 1620 1621 1622 1623 1624 1625 1626 1627 1628 1629 1630 1631 1632 1633 1634 1635 1636 1637 1638 1639 1640 1641 1642 1643 1644 1645 1646 1647 1648 1649 1650 1651 1652 1653 1654 1655 1656 1657 1658 1659 1660 1661 1662 1663 1664 1665 1666 1667 1668 1669 1670 1671 1672 1673 1674 1675 1676 1677 1678 1679 1680 1681 1682 1683 1684 1685 1686 1687 1688 1689 1690 1691 1692 1693 1694 1695 1696 1697 1698 1699 1700 1701 1702 1703 1704 1705 1706 1707 1708 1709 1710 1711 1712 1713 1714 1715 1716 1717 1718 1719 1720 1721 1722 1723 1724 1725 1726 1727 1728 1729 1730 1731 1732 1733 1734 1735 1736 1737 1738 1739 1740 1741 1742 1743 1744 1745 1746 1747 1748 1749 1750 1751 1752 1753 1754 1755 1756 1757 1758 1759 1760 1761 1762 1763 1764 1765 1766 1767 1768 1769 1770 1771 1772 1773 1774 1775 1776 1777 1778 1779 1780 1781 1782 1783 1784 1785 1786 1787 1788 1789 1790 1791 1792 1793 1794 1795 1796 1797 1798 1799 1800 1801 1802 1803 1804 1805 1806 1807 1808 1809 1810 1811 1812 1813 1814 1815 1816 1817 1818 1819 1820 1821 1822 1823 1824 1825 1826 1827 1828 1829 1830 1831 1832 1833 1834 1835 1836 1837 1838 1839 1840 1841 1842 1843 1844 1845 1846 1847 1848 1849 1850 1851 1852 1853 1854 1855 1856 1857 1858 1859 1860 1861 1862 1863 1864 1865 1866 1867 1868 1869 1870 1871 1872 1873 1874 1875 1876 1877 1878 1879 1880 1881 1882 1883 1884 1885 1886 1887 1888 1889 1890 1891 1892 1893 1894 1895 1896 1897 1898 1899 1900 1901 1902 1903 1904 1905 1906 1907 1908 1909 1910 1911 1912 1913 1914 1915 1916 1917 1918 1919 1920 1921 1922 1923 1924 1925 1926 1927 1928 1929 1930 1931 1932 1933 1934 1935 1936 1937 1938 1939 1940 1941 1942 1943 1944 1945 1946 1947 1948 1949 1950 1951 1952 1953 1954 1955 1956 1957 1958 1959 1960 1961 1962 1963 1964 1965 1966 1967 1968 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 2034 2035 2036 2037 2038 2039 2040 2041 2042 2043 2044 2045 2046 2047 2048 2049 2050 2051 2052 2053 2054 2055 2056 2057 2058 2059 2060 2061 2062 2063 2064 2065 2066 2067 2068 2069 2070 2071 2072 2073 2074 2075 2076 2077 2078 2079 2080 2081 2082 2083 2084 2085 2086 2087 2088 2089 2090 2091 2092 2093 2094 2095 2096 2097 2098 2099 2100 2101 2102 2103 2104 2105 2106 2107 2108 2109 2110 2111 2112 2113 2114 2115 2116 2117 2118 2119 2120 2121 2122 2123 2124 2125 2126 2127 2128 2129 2130 2131 2132 2133 2134 2135 2136 2137 2138 2139 2140 2141 2142 2143 2144 2145 2146 2147 2148 2149 2150 2151 2152 2153 2154 2155 2156 2157 2158 2159 2160 2161 2162 2163 2164 2165 2166 2167 2168 2169 2170 2171 2172 2173 2174 2175 2176 2177 2178 2179 2180 2181 2182 2183 2184 2185 2186 2187 2188 2189 2190 2191 2192 2193 2194 2195 2196 2197 2198 2199 2200 2201 2202 2203 2204 2205 2206 2207 2208 2209 2210 2211 2212 2213 2214 2215 2216 2217 2218 2219 2220 2221 2222 2223 2224 2225 2226 2227 2228 2229 2230 2231 2232 2233 2234 2235 2236 2237 2238 2239 2240 2241 2242 2243 2244 2245 2246 2247 2248 2249 2250 2251 2252 2253 2254 2255 2256 2257 2258 2259 2260 2261 2262 2263 2264 2265 2266 2267 2268 2269 2270 2271 2272 2273 2274 2275 2276 2277 2278 2279 2280 2281 2282 2283 2284 2285 2286 2287 2288 2289 2290 2291 2292 2293 2294 2295 2296 2297 2298 2299 2300 2301 2302 2303 2304 2305 2306 2307 2308 2309 2310 2311 2312 2313 2314 2315 2316 2317 2318 2319 2320 2321 2322 2323 2324 2325 2326 2327 2328 2329 2330 2331 2332 2333 2334 2335 2336 2337 2338 2339 2340 2341 2342 2343 2344 2345 2346 2347 2348 2349 2350 2351 2352 2353 2354 2355 2356 2357 2358 2359 2360 2361 2362 2363 2364 2365 2366 2367 2368 2369 2370 2371 2372 2373 2374 2375 2376 2377 2378 2379 2380 2381 2382 2383 2384 2385 2386 2387 2388 2389 2390 2391 2392 2393 2394 2395 2396 2397 2398 2399 2400 2401 2402 2403 2404 2405 2406 2407 2408 2409 2410 2411 2412 2413 2414 2415 2416 2417 2418 2419 2420 2421 2422 2423 2424 2425 2426 2427 2428 2429 2430 2431 2432 2433 2434 2435 2436 2437 2438 2439 2440 2441 2442 2443 2444 2445 2446 2447 2448 2449 2450 2451 2452 2453 2454 2455 2456 2457 2458 2459 2460 2461 2462 2463 2464 2465 2466 2467 2468 2469 2470 2471 2472 2473 2474 2475 2476 2477 2478 2479 2480 2481 2482 2483 2484 2485 2486 2487 2488 2489 2490 2491 2492 2493 2494 2495 2496 2497 2498 2499 2500 2501 2502 2503 2504 2505 2506 2507 2508 2509 2510 2511 2512 2513 2514 2515 2516 2517 2518 2519 2520 2521 2522 2523 2524 2525 2526 2527 2528 2529 2530 2531 2532 2533 2534 2535 2536 2537 2538 2539 2540 2541 2542 2543 2544 2545 2546 2547 2548 2549 2550 2551 2552 2553 2554 2555 2556 2557 2558 2559 2560 2561 2562 2563 2564 2565 2566 2567 2568 2569 2570 2571 2572 2573 2574 2575 2576 2577 2578 2579 2580 2581 2582 2583 2584 2585 2586 2587 2588 2589 2590 2591 2592 2593 2594 2595 2596 2597 2598 2599 2600 2601 2602 2603 2604 2605 2606 2607 2608 2609 2610 2611 2612 2613 2614 2615 2616 2617 2618 2619 2620 2621 2622 2623 2624 2625 2626 2627 2628 2629 2630 2631 2632 2633 2634 2635 2636 2637 2638 2639 2640 2641 2642 2643 2644 2645 2646 2647 2648 2649 2650 2651 2652 2653 2654 2655 2656 2657 2658 2659 2660 2661 2662 2663 2664 2665 2666 2667 2668 2669 2670 2671 2672 2673 2674 2675 2676 2677 2678 2679 2680 2681 2682 2683 2684 2685 2686 2687 2688 2689 2690 2691 2692 2693 2694 2695 2696 2697 2698 2699 2700 2701 2702 2703 2704 2705 2706 2707 2708 2709 2710 2711 2712 2713 2714 2715 2716 2717 2718 2719 2720 2721 2722 2723 2724 2725 2726 2727 2728 27

seconde partie en retrait 202 qui va former l'évidement 26 devant se trouver sous la partie mobile 10. La première partie 201 en retrait est moins profonde que la seconde partie en retrait 202. La seconde partie en retrait 202 est située dans une zone centrale de la première partie en retrait 201. Cette gravure peut être une gravure sèche. Le second substrat 200 ainsi gravé va matérialiser les électrodes fixes 20 qui sont alors confondues pour tous les actionneurs. Les électrodes fixes sont ainsi incluses dans la base. On recouvre ensuite le second substrat 200 ainsi gravé d'une couche de matériau isolant 203, par exemple du nitrure de silicium ou un oxyde (figure 11D). La couche de matériau isolant 203 matérialise la couche isolante 24 insérée entre électrodes fixes 20 et mobiles 21.

On fixe ensuite les deux substrats 100, 200 ensemble en plaçant la première partie en retrait 201 face à la couche superficielle 103 gravée (figure 11E). Cette fixation peut se faire par un procédé d'adhésion moléculaire après avoir préparé les surfaces à assembler de manière appropriée. Un tel procédé d'adhésion moléculaire est connu par le sigle SDB abréviation anglo-saxonne de Silicon Direct Bonding. La seconde partie en retrait 202 est en vis à vis avec la première région de la partie mobile 10.

On retire par exemple par une rectification mécanique grossière suivie d'une gravure humide du silicium la couche de base 101 et la couche d'isolant inférieure 102.1 du sandwich 102 du premier substrat 100 (figure 11F).

On va ensuite graver la couche intermédiaire 102.3 et la couche isolante supérieure 102.2 pour avoir accès à la couche superficielle 103 de manière à délimiter des plots de contact. Les zones
5 ainsi gravées sont référencées 108 sur la figure 11G. On grave aussi dans la couche superficielle 103 des trous d'interconnexion 109 qui serviront, une fois métallisés, à faire des reprises de contact entre les électrodes mobiles et les parties 107.1, 107.1 de la
10 première région de la partie mobile 10. Ces trous d'interconnexion 109 sont creusés dans les bras de torsion 13 dans une zone où ils se projettent de la partie mobile 10 mais d'autres endroits seraient possibles. Il y a autant de trous d'interconnexion 109
15 que d'électrodes mobiles 21. Les reprises de contact vont permettre de relier électriquement les dites parties 107.1, 107.2 aux électrodes mobiles 21. Cette étape de gravure est illustrée aux figures 11G et 11H.

Ensuite on dépose du métal de manière à
20 réaliser les plots de contact 110 et les reprises de contact 111 dans les zones gravées 108 et les trous d'interconnexion 109 (figure 11I). Le matériau déposé peut être du tungstène, de l'aluminium ou tout autre métal ou alliage utilisé classiquement.

25 Les figures 11J et 11K montrent, en coupe et en vue de dessus respectivement, le résultat d'une étape de gravure dans la couche intermédiaire 102.3 qui

permet de délimiter les zones de contact et les zones d'interconnexion.

d'entraînement (qui sont confondus). La seconde région de la partie mobile, la seconde région des bras de torsion, la seconde région des bras d'entraînement sont donc formées dans le matériau semi-conducteur de la
5 couche intermédiaire 102.3.

Les première et seconde régions de la partie mobile, des bras de torsion et des bras d'entraînement sont superposées et forment donc un empilement de la couche superficielle de la couche
10 isolante supérieure et de la couche intermédiaire. On prévoit bien sûr une tranchée d'isolation 112 entre deux électrodes mobiles, situées de part et d'autre de l'axe 12 et qui sont solidaire du même bras de torsion 13 et une tranchée d'isolation 113 entre la partie
15 mobile 10 et les électrodes mobiles 21.

La figure 11L est une coupe du micro-miroir dans un plan AA de la figure 11J. Par rapport à la figure 11C, on y voit les plots de contact 110 et les reprises de contact 111.

20 La zone réfléchissante 17 peut être réalisée par le matériau semi-conducteur de la couche intermédiaire 102.3 se trouvant au niveau de la seconde région de la partie mobile 10 s'il présente une réflectivité suffisante. On pourrait bien sûr la
25 réaliser par métallisation par exemple d'or, d'argent, d'aluminium ou autre de la dite seconde région de la partie mobile.

Les termes « gauche », « droit », « haut », « bas », « inférieur », « supérieur »,
30 « horizontal », « vertical » et autres sont applicables aux modes de réalisation montrés et décrit en relation

avec les figures. Ils sont employés uniquement pour les besoins de la description et ne s'appliquent pas nécessairement à la position prise par le micro-miroir lorsqu'il est en fonctionnement.

5 Bien que plusieurs modes de réalisation de micro-miroirs aient été décrits, la présente invention n'est pas strictement limitée à ces modes de réalisation. Notamment le nombre d'actionneurs n'est pas limité à deux ou à quatre comme illustré. Ce nombre
10 peut être quelconque, il y a au moins un actionneur d'un côté de l'axe et au moins un actionneur de l'autre côté.

RÉFÉRENCES CITÉES :

[1] "Two-phase actuators : stable zipping devices without fabrication of curved structures", J .R. Gilbert, S.D. Senturia, Solid-state Sensor and
5 Actuator Workshop, June 1996, Hilton Head S.C pages 98-100.

[2] "A micromachined deformable mirror for adaptative optics", W. Schwartz, C. Divoux, J. Margail,
10 L. Jocou, J. Charton, E. Stadler, T. Jager, F. Casset, T. Enot, Proceedings of SPIE 2003, vol. 4985, pages 230-241.

[3] "A scanning micro-mirror with angular
15 comb drive actuation", P.R Patterson, D. Hah, H. Nguyen, H. Toshiyoshi, R. Chao, M. C. Wu, 2002 IEEE, pages 544-547.

REVENDICATIONS

1. Micro-miroir comprenant une partie mobile (10) avec une zone réfléchissante (17), une
5 partie fixe (14), des moyens de liaison (13) de la partie mobile (10) à la partie fixe (14) matérialisant un axe de rotation (12) contenu dans la partie mobile (10), sensiblement parallèle à un plan principal de la partie mobile (10), et des moyens de commande
10 électrique (18) de la rotation de la partie mobile (10) autour de l'axe (12), caractérisé en ce que les moyens de commande électrique (18) comportent deux actionneurs (19) ou plus, formés chacun d'une électrode fixe (20) solidaire de la partie fixe (14) et d'une électrode
15 mobile (21) dotée d'une extrémité libre (21.1) et d'une extrémité reliée à un bras d'entraînement (23) sensiblement parallèle à l'axe (12) et issu de la partie mobile (10), l'électrode mobile (21) étant destinée à se plaquer sur l'électrode fixe (20) depuis
20 son extrémité libre (21.1) lorsqu'une tension d'actionnement (V_1 , V_2) est appliquée entre les deux électrodes (20, 21) d'un des actionneurs (19), le plaquage se faisant sur une surface variable en fonction de la tension appliquée entre les électrodes
25 de l'actionneur, les actionneurs (19) étant disposés de part et d'autre de l'axe (12).

(13) issus de la partie mobile (10) dont les extrémités (11) sont reliées à la partie fixe (14).

3. Micro-miroir selon l'une des
5 revendications 1 ou 2, dans lequel l'axe (12) passe par le centre géométrique de la partie mobile (10).

4. Micro-miroir selon l'une des
10 revendications 2 ou 3, dans lequel, d'un même côté de la partie mobile (10), un bras d'entraînement (23) est décalé par rapport à un bras de torsion (13).

5. Micro-miroir selon l'une des
15 revendications 2 ou 3, dans lequel, d'un même côté de la partie mobile (10), un bras d'entraînement (23) et un bras de torsion (13) sont dans le prolongement l'un de l'autre.

6. Micro-miroir selon la revendication 5,
20 caractérisé en ce que le bras de torsion (13) a une section transversale inférieure à celle du bras d'entraînement (23).

7. Micro-miroir selon la revendication 5,
25 caractérisé en ce que le bras de torsion (13) a une section transversale sensiblement égale à celle du bras d'entraînement (23).

8. Micro-miroir selon l'une des
30 revendications 1 à 7, dans lequel plusieurs électrodes

mobiles (21) sont reliées à un même bras d'entraînement (23).

5 9. Micro-miroir selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel chaque bras d'entraînement (23) est solidaire d'une seule électrode mobile (21).

10 10. Micro-miroir selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel plusieurs électrodes mobiles (21) situées d'un même côté de l'axe (12) sont reliées entre elles au niveau de leur extrémité libre (21.1).

15 11. Micro-miroir selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel au moins une électrode mobile (21) est enroulée sur elle-même, son extrémité libre (21.1) se trouvant dans une zone centrale de l'enroulement.

20

12. Micro-miroir selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel au moins une électrode mobile (21) est sensiblement rectiligne.

25

13. Micro-miroir selon l'une des revendications 1 à 12, dans lequel au moins une électrode mobile (21) comporte un corps (21.2) de forme sensiblement conique ou cylindrique.

14. Micro-miroir selon l'une des revendications 1 à 13, dans lequel les électrodes fixes (20) des actionneurs (19) sont confondues.

5 15. Micro-miroir selon l'une des revendications 1 à 14, dans lequel la partie fixe (14) comporte une base (16) et des montants (15) sur lesquels s'appuient les moyens de liaison (13), la
10 partie mobile (10) étant suspendue au-dessus de la base (16).

16. Micro-miroir selon la revendication 15, dans lequel la base (16) comporte un évidement (26) en regard de la partie mobile (10) qui est suspendue au-
15 dessus de l'évidement (26).

17. Micro-miroir selon l'une des revendications 1 à 16, dans lequel les électrodes fixes (20) sont recouvertes d'un matériau diélectrique (24).
20

18. Micro-miroir selon l'une des revendications 1 à 17, dans lequel les moyens de commande électrique (18) comportent des moyens d'adressage (27) aptes à appliquer une tension
25 d'actionnement (V_1 , V_2) aux électrodes mobiles et/ou aux électrodes fixes.

19. Micro-miroir selon la revendication 18, dans lequel la tension d'actionnement est une
30 tension continue (V_0) superposée à une tension de commande variable (V_1' , V_2').

20. Micro-miroir selon la revendication 18, dans lequel au moins une électrode fixe (20) d'un actionneur est morcelée en deux portions (20.1, 20.2) dont une portion d'extrémité (20.1), ces deux portions
5 (20.1, 20.2) étant isolées l'une de l'autre, les moyens d'adressage (27) étant aptes à appliquer une tension continue (V0) à la portion d'extrémité (20.1) et une tension de commande variable (V1', V2') à l'autre portion (20.2).

10

21. Micro-miroir selon l'une des revendications 19 ou 20, dans lequel la tension continue (V0) est une tension minimale pour maintenir un plaquage de l'extrémité libre (21.1) de l'électrode
15 mobile (21) de l'actionneur sur l'électrode fixe (20).

22. Micro-miroir selon l'une des revendications 19 à 21, dans lequel, lorsque la tension de commande appliquée à un actionneur situé d'un côté
20 de l'axe est non nulle, la tension de commande appliquée en même temps à un actionneur situé de l'autre côté de l'axe est nulle.

23. Procédé de réalisation d'un micro-
25 miroir selon l'une des revendications 1 à 22, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

a) gravure du contour d'une première région

b) gravure d'une deuxième région

une première couche isolante (102.2) d'un substrat stratifié (100) comportant un empilement alterné d'une première et une seconde couches (102.1, 102.2) en matériau isolant et de deux couches semi-conductrices
 5 (103, 102.3) dont une est intermédiaire (102.3) et l'autre superficielle (103),

b) dans un second substrat semi-conducteur (200) gravure d'une partie en retrait (201), ce second substrat (200) contribuant à réaliser une seconde
 10 région de la partie fixe (14) et les électrodes fixes (20) des actionneurs (19),

c) assemblage des deux substrats (100, 200), la partie en retrait (201) étant face à la couche superficielle (103) gravée,

15 d) gravure du contour des électrodes mobiles (21), d'une seconde région de la partie mobile (10), d'une seconde région des moyens de liaison (13), d'une seconde région des bras d'entraînement (23), dans la couche intermédiaire (102.3) et réalisation au
 20 préalable de métallisations (110, 111) reliées électriquement aux électrodes mobiles (21) pour l'application de la tension d'actionnement (V1, V2) de chaque actionneur (19) via la partie fixe (14) et la partie mobile (10)

25

24. Procédé selon la revendication 23, dans lequel on réalise des tranchées d'isolation (104, 105) lors de l'étape a) dans la couche superficielle (103) et la couche d'isolation supérieure (102.2) au
 30 niveau de la première région de la partie fixe (10) et de la première région de la partie mobile (14) et dans

la couche intermédiaire (102.3) lors de l'étape d) au niveau des électrodes mobiles (21) et de la seconde région de la partie mobile (10) pour assurer une isolation électrique des électrodes mobiles (21) lors de l'application de la tension d'actionnement vers une électrode mobile (21) via la première région de la partie fixe (14) et la première région de la partie mobile (10).

10 25. Procédé selon l'une des revendications 23 à 24, dans lequel l'étape b) inclut la gravure de l'évidement (26) dans une partie centrale de la partie en retrait (201).

15 26. Procédé selon l'une des revendications 23 à 25, dans lequel l'étape b) est suivie d'une étape de réalisation d'une couche de matériau isolant (203) sur le second substrat gravé (200).

20 27. Procédé selon l'une des revendications 23 à 26, caractérisé en ce que la seconde région de la partie mobile (10) réalise la zone réfléchissante (17).

25 28. Procédé selon l'une des revendications 23 à 26, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de métallisation de la seconde région de la partie mobile (10) pour réaliser la zone réfléchissante (17).

30. Procédé selon l'une des revendications 23 à 29, dans lequel la couche superficielle (103) est plus épaisse que la couche intermédiaire (102.3).

5 31. Procédé selon l'une des revendications 23 à 30, dans lequel le premier substrat (100) est un double substrat SOI et comporte du côté de la seconde couche isolante (102.2) une couche semi-conductrice de base (101) qui est ôtée après l'assemblage des deux
10 substrats (100, 200).

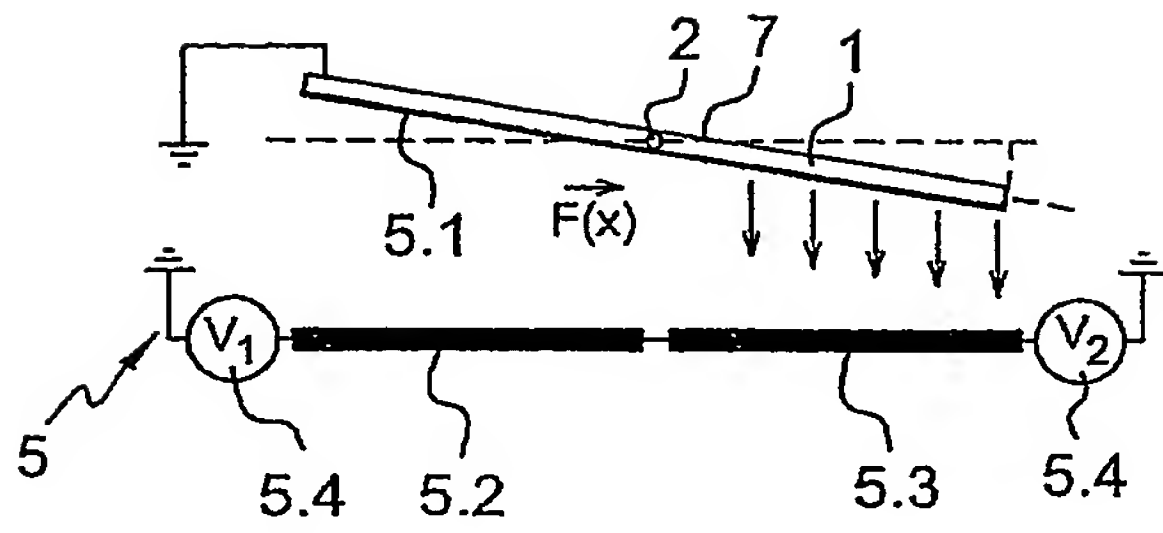


Fig. 1A

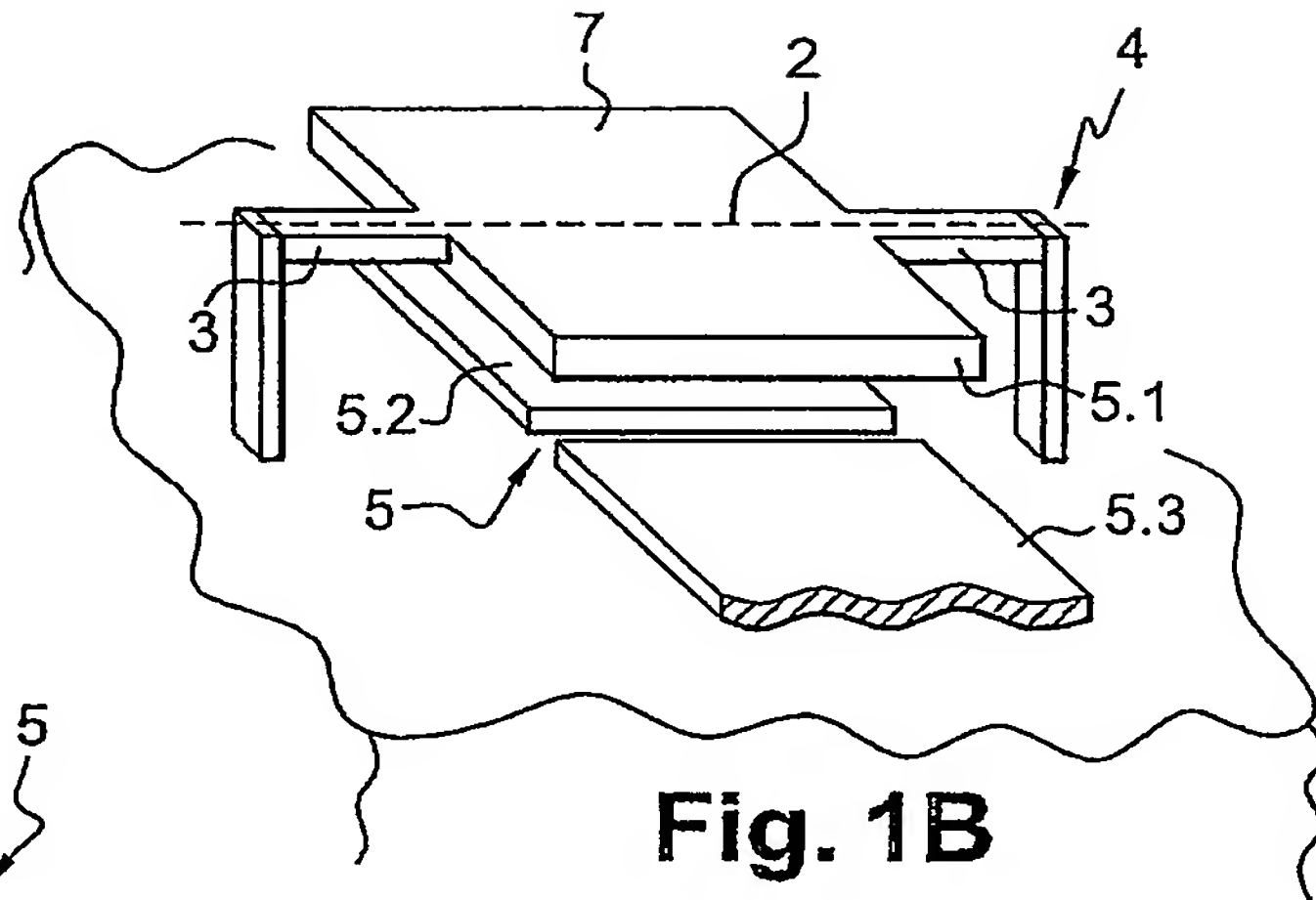


Fig. 1B

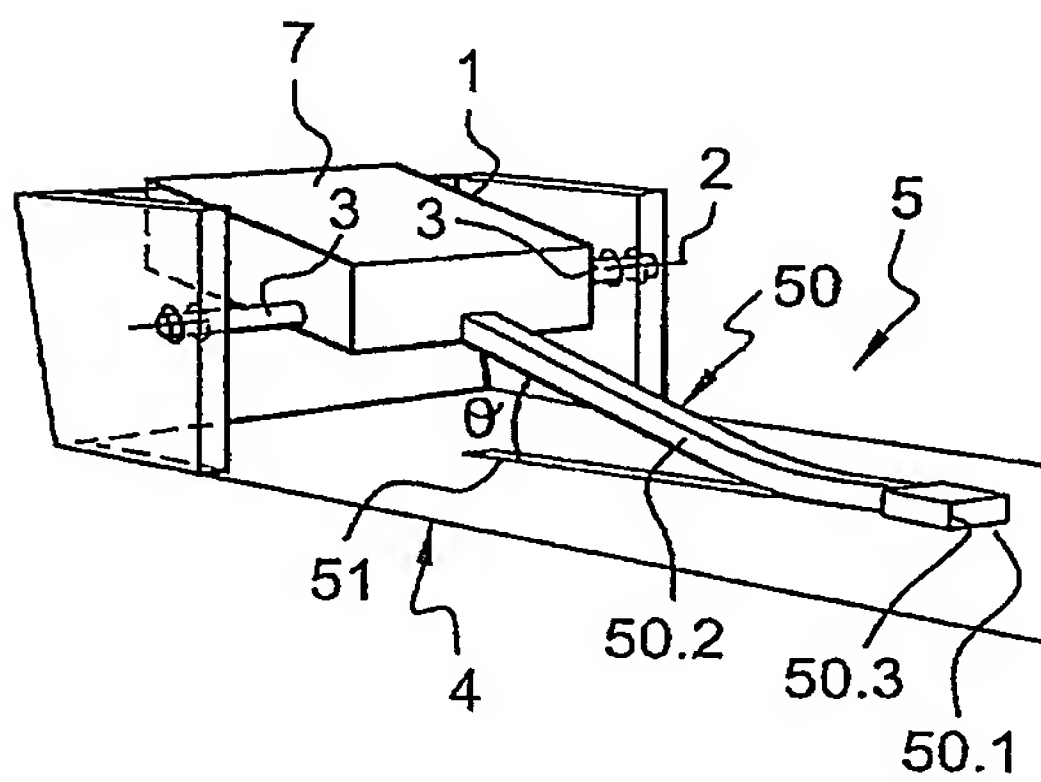
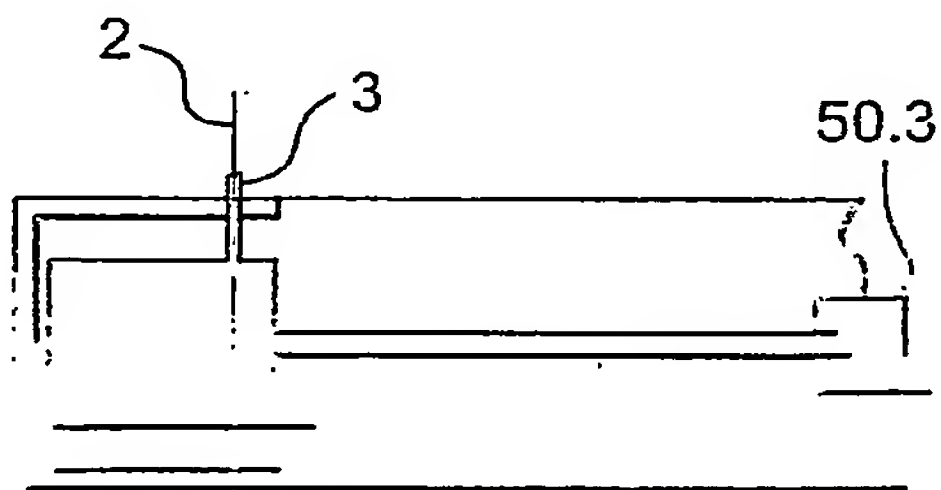


Fig. 2A



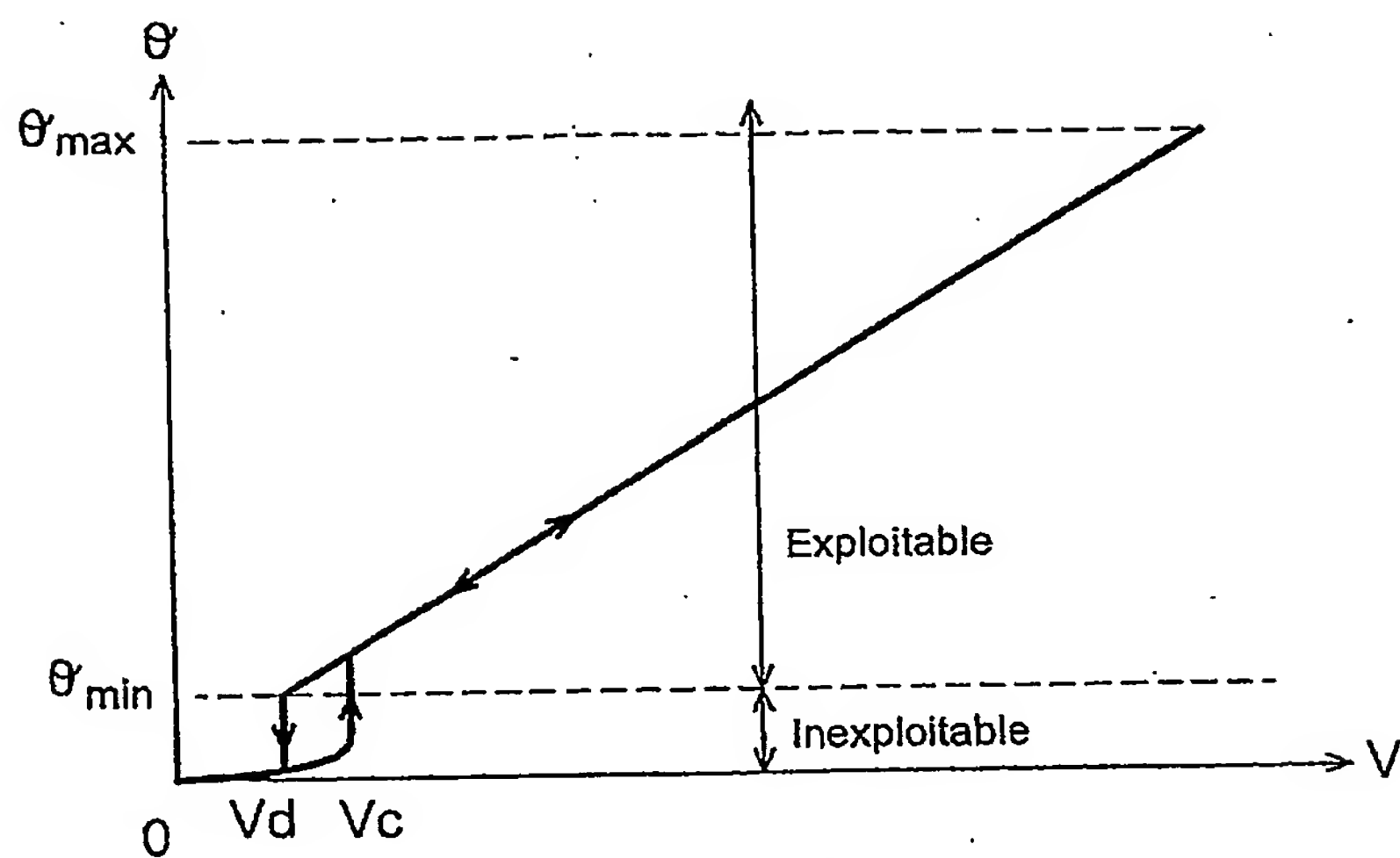


Fig. 2c

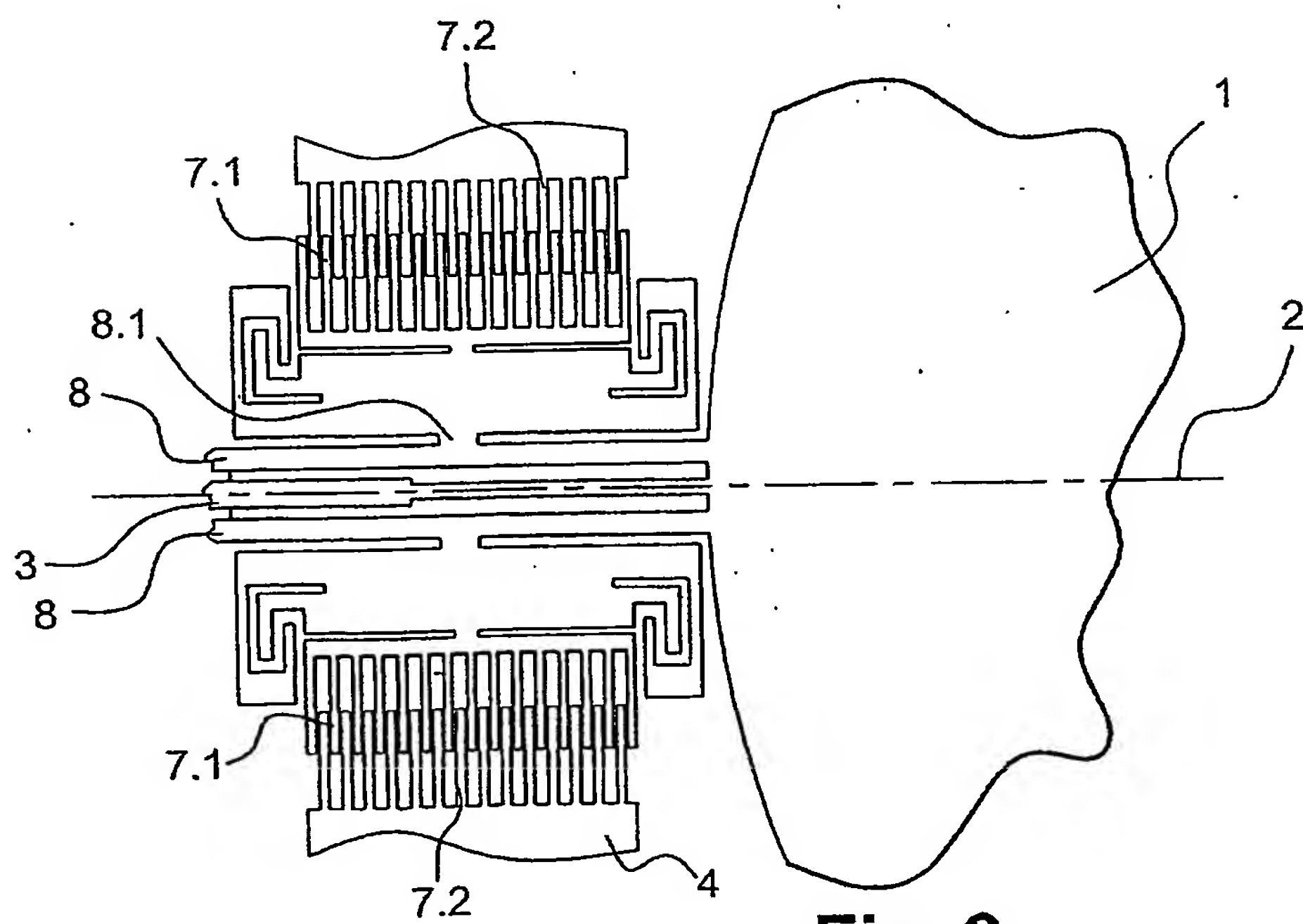
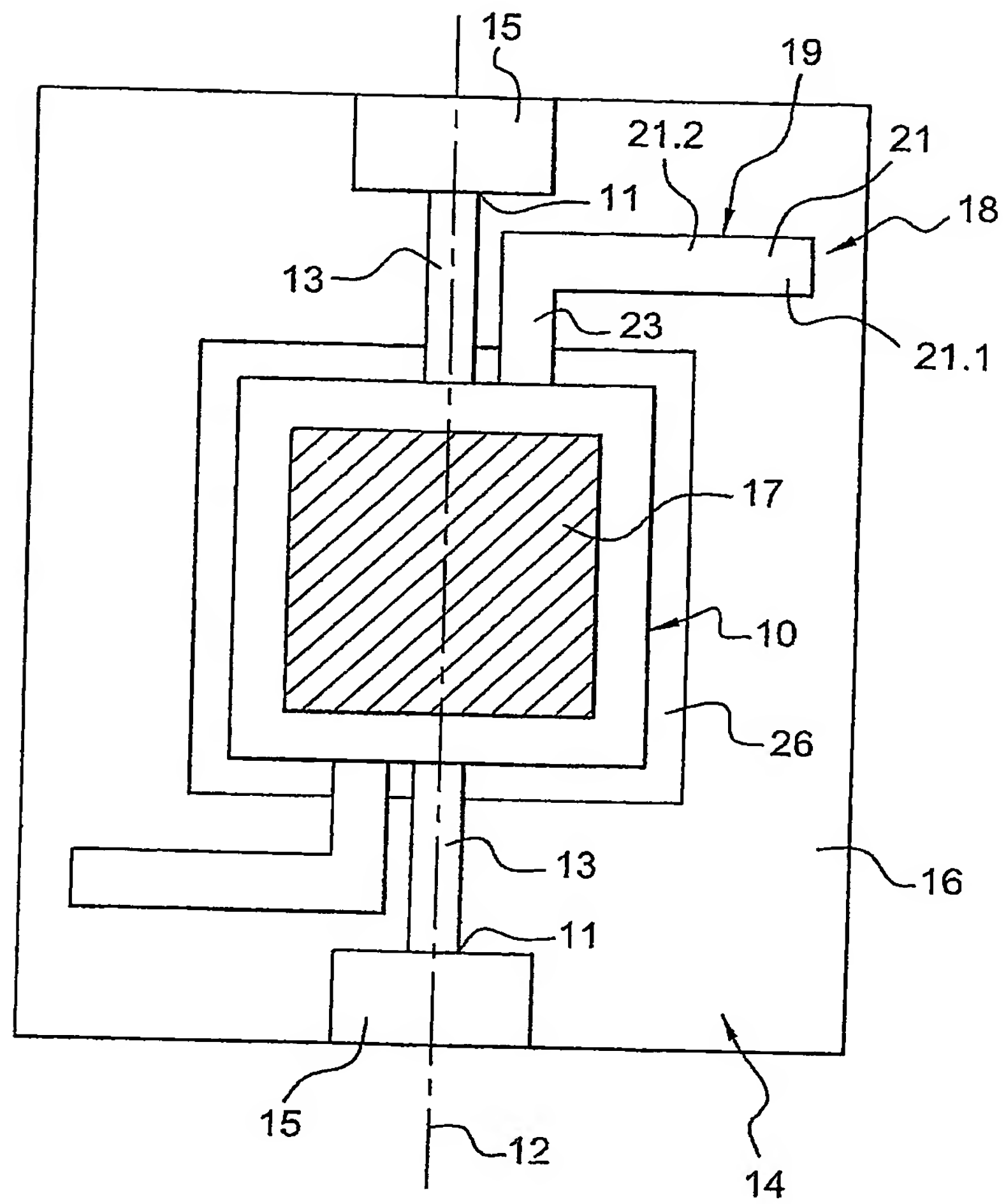


Fig. 3



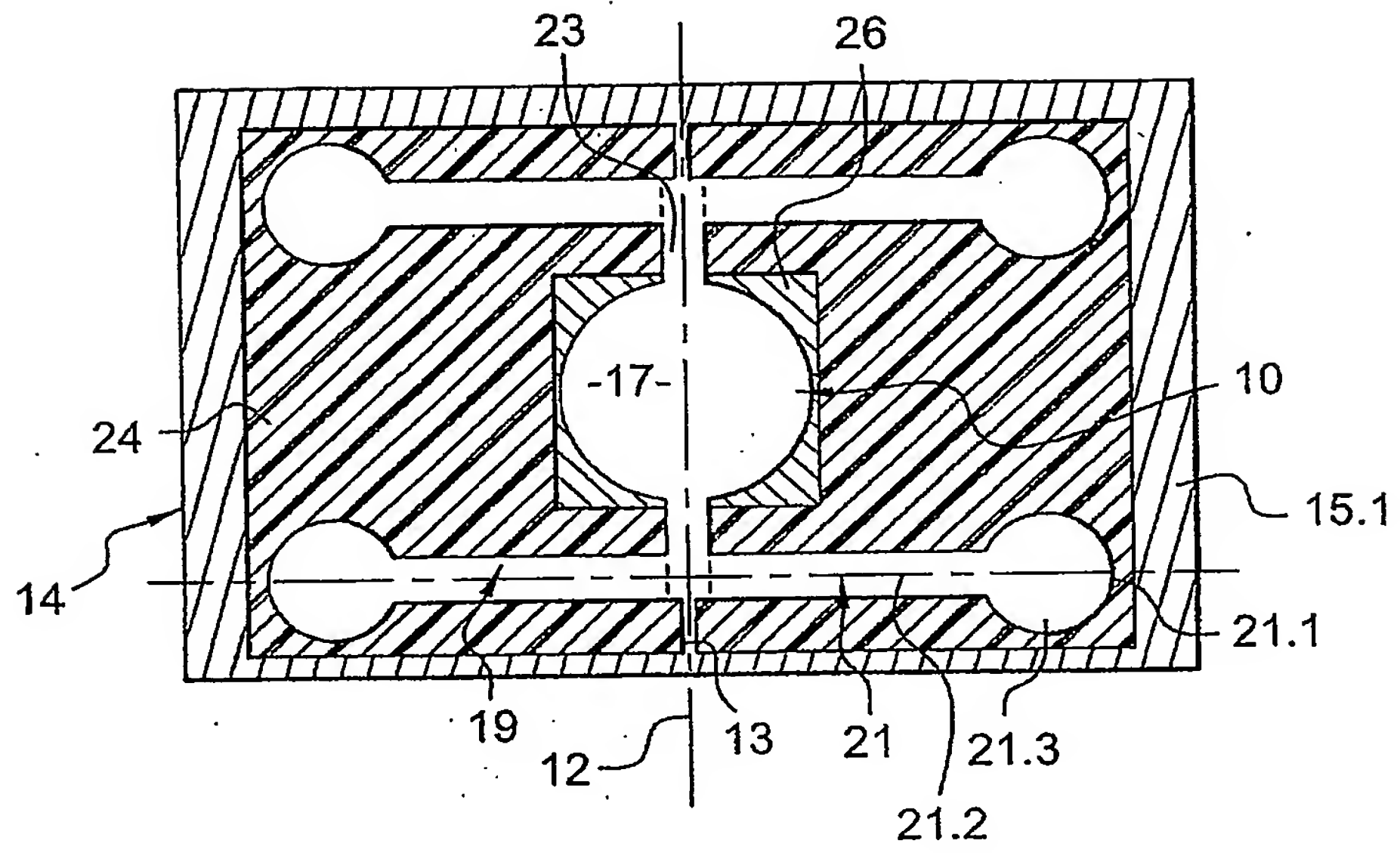


Fig. 5A

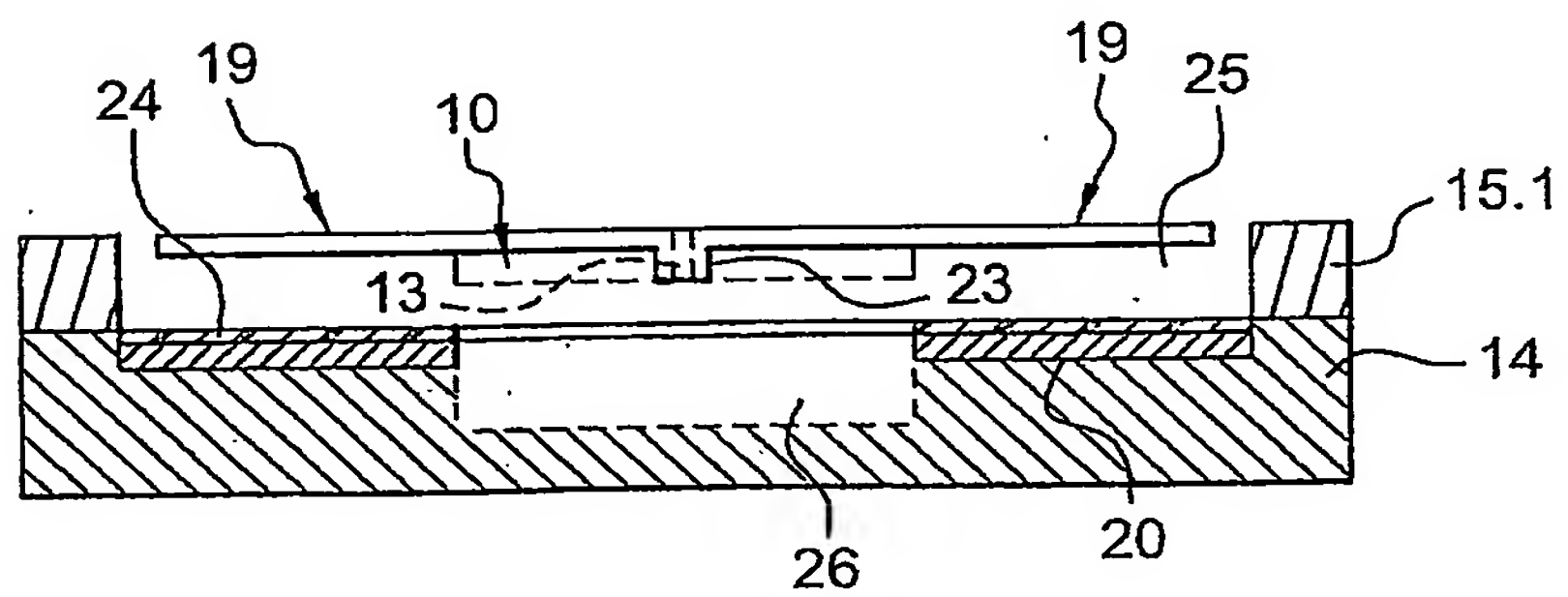


Fig. 5B

5 / 11

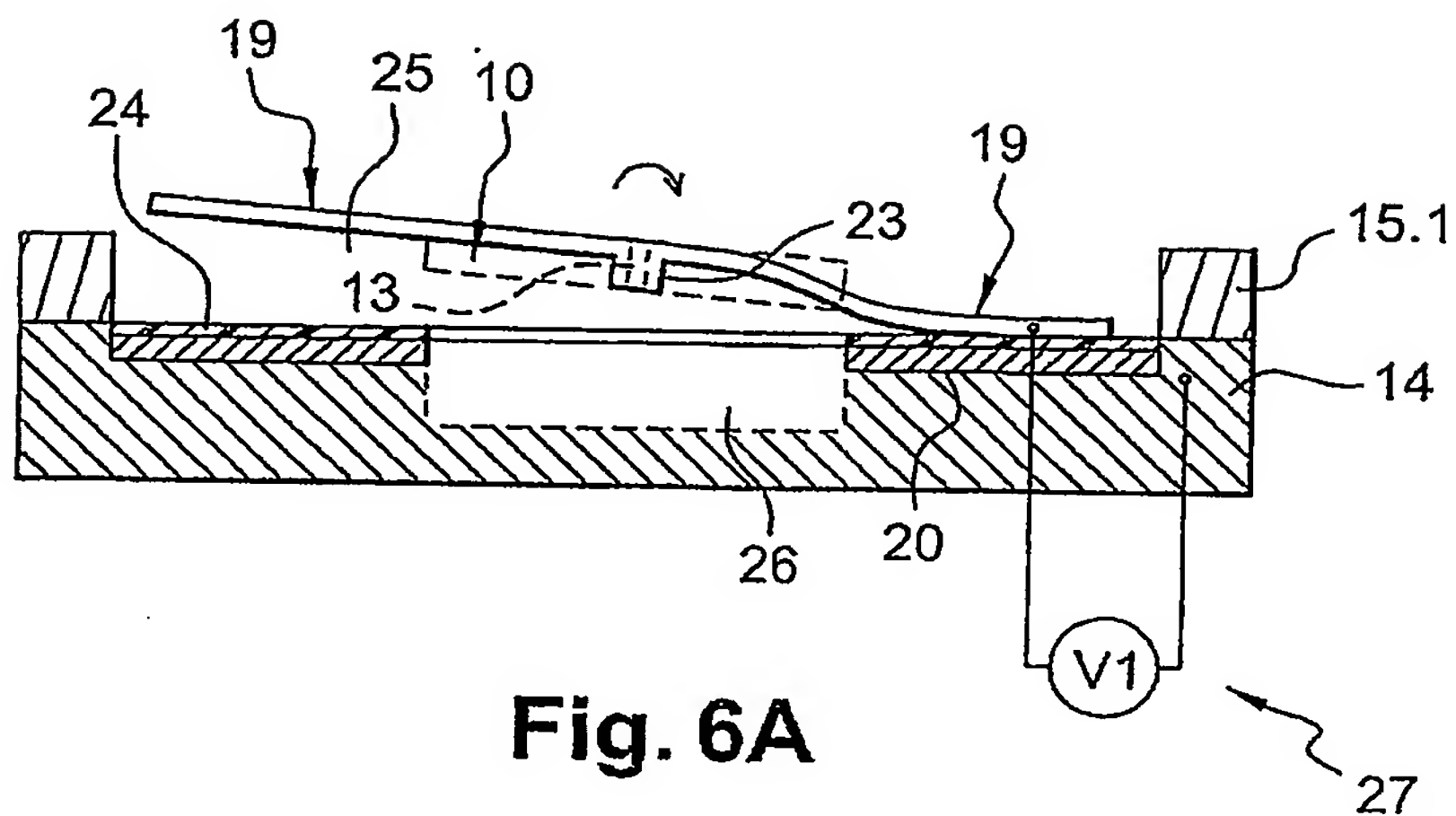


Fig. 6A

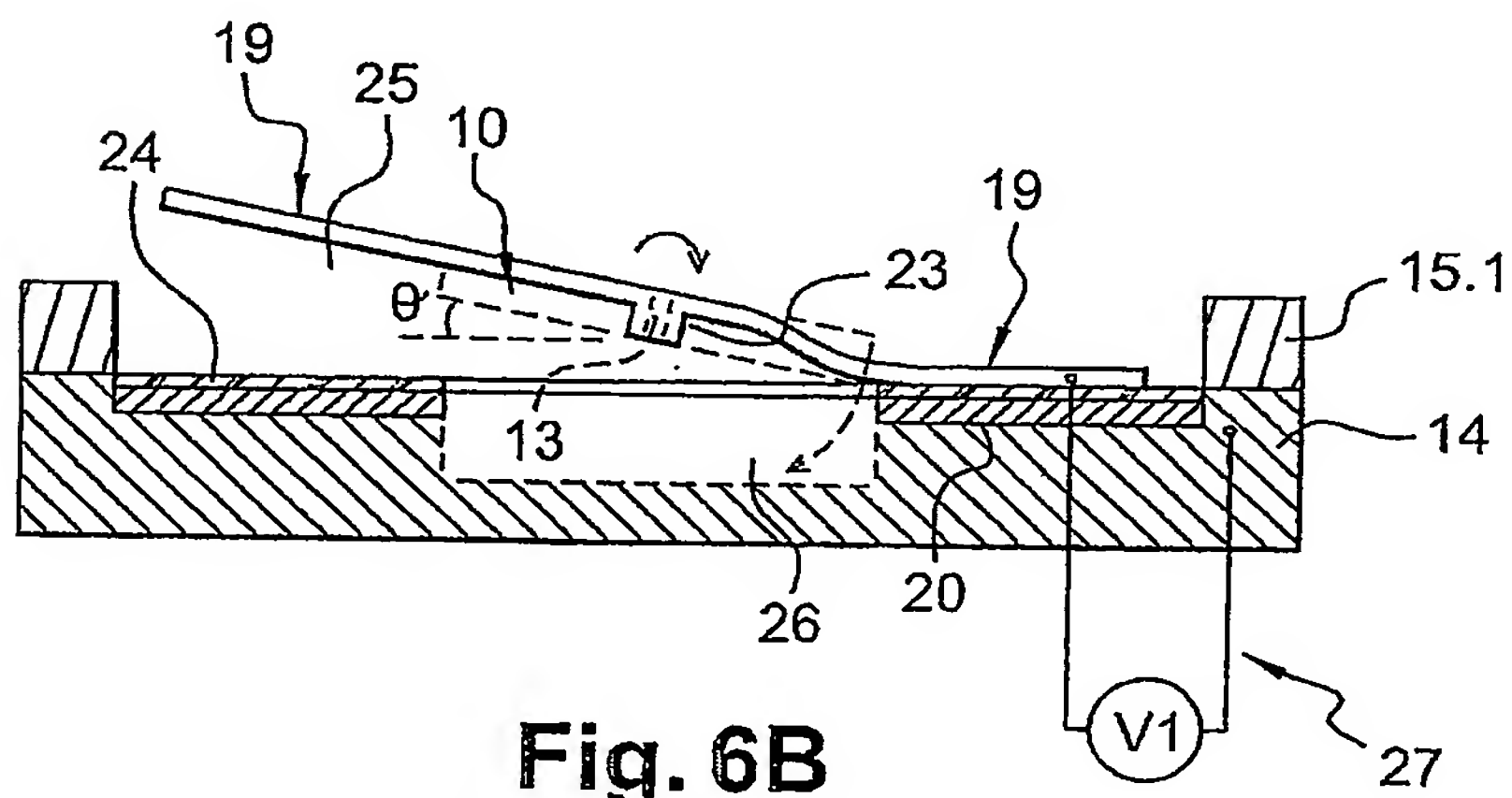
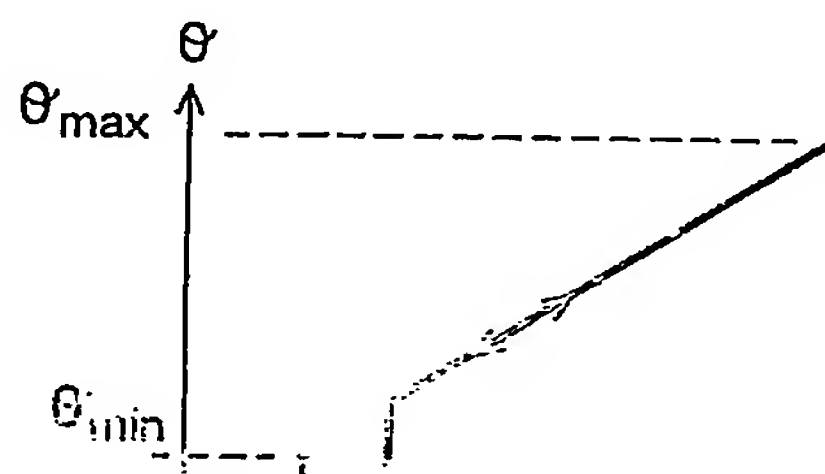
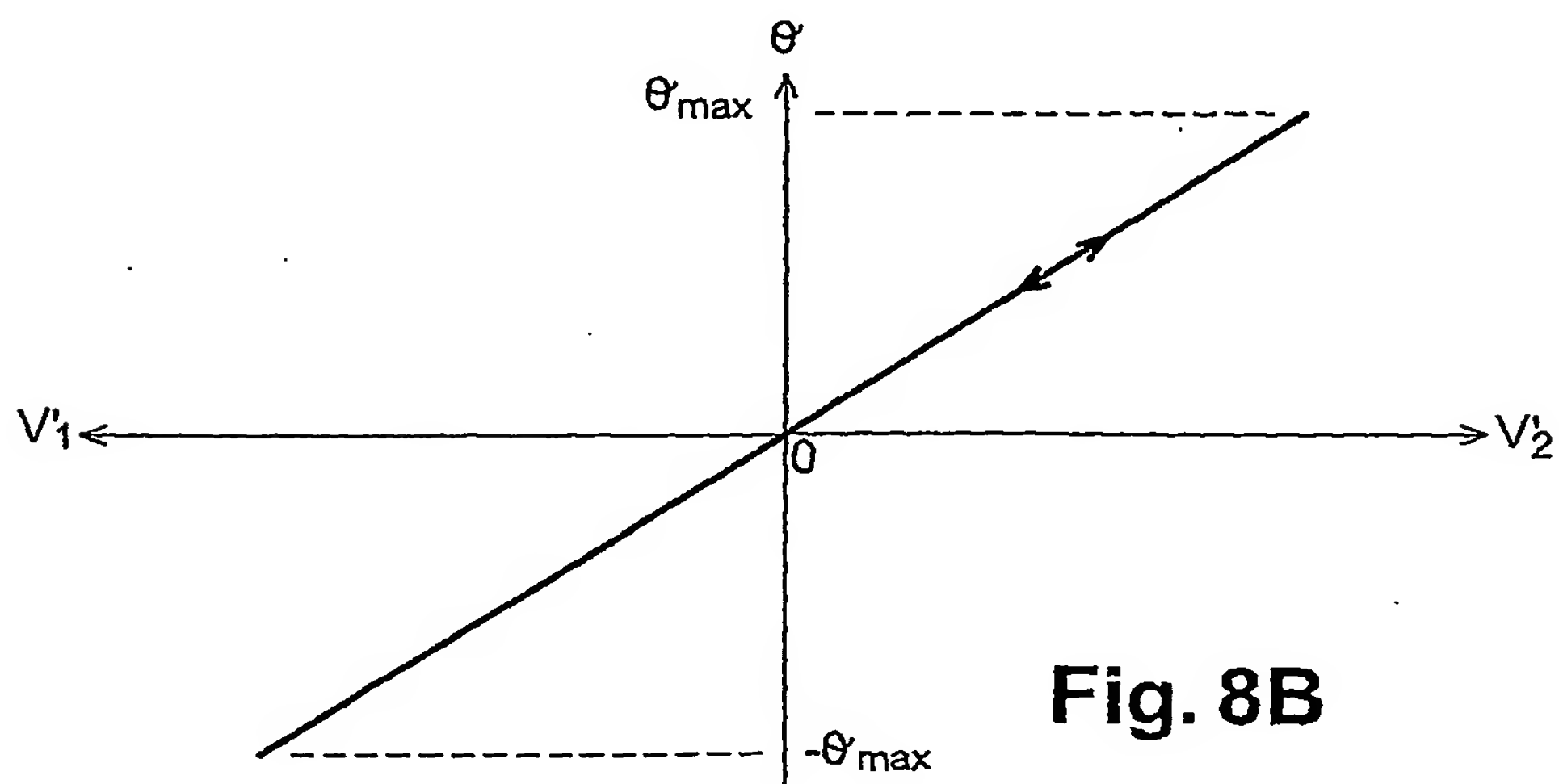
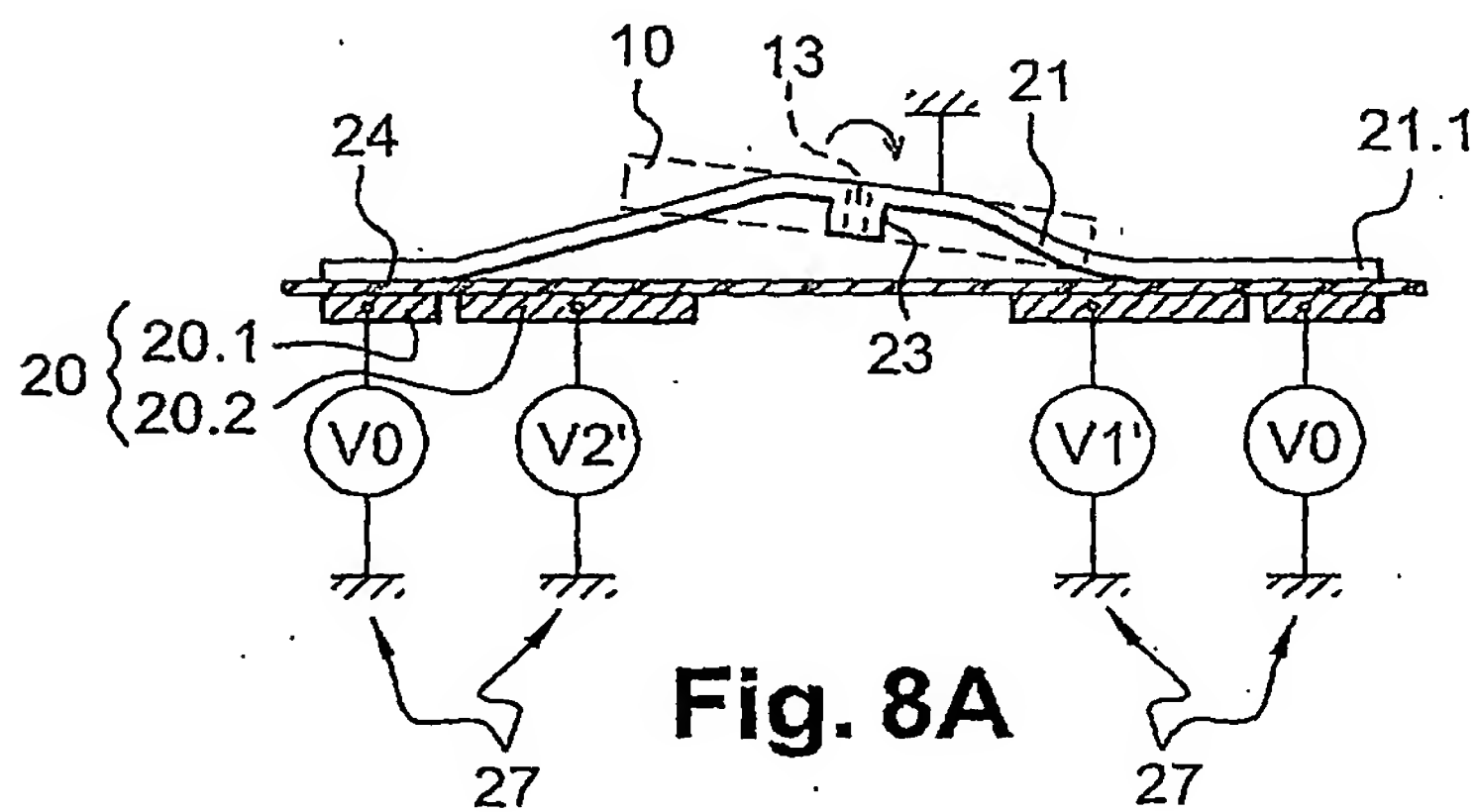
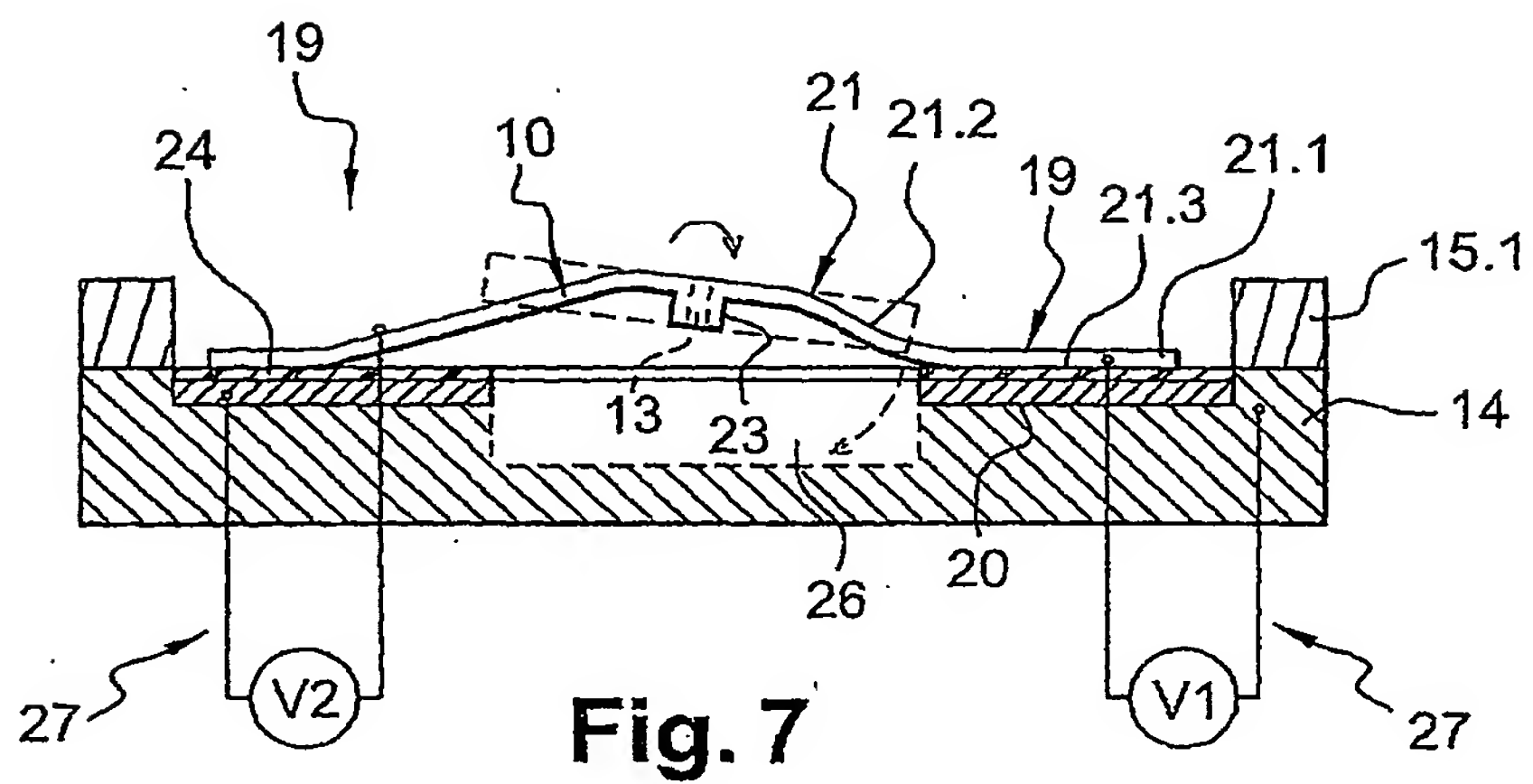
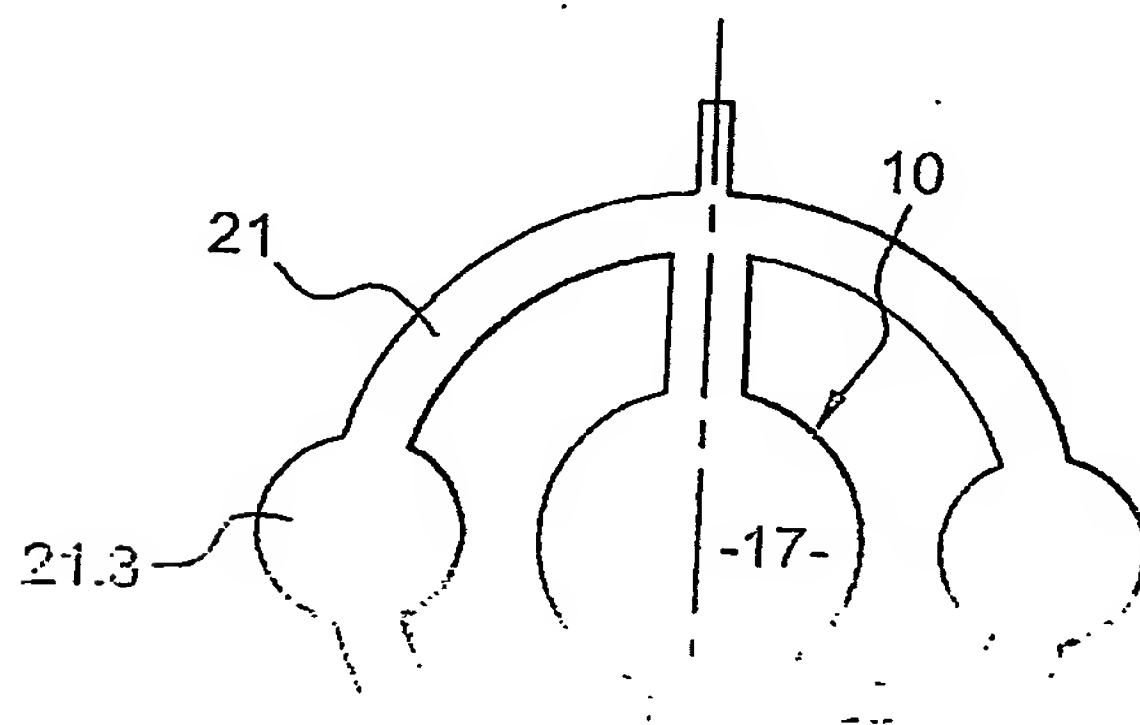
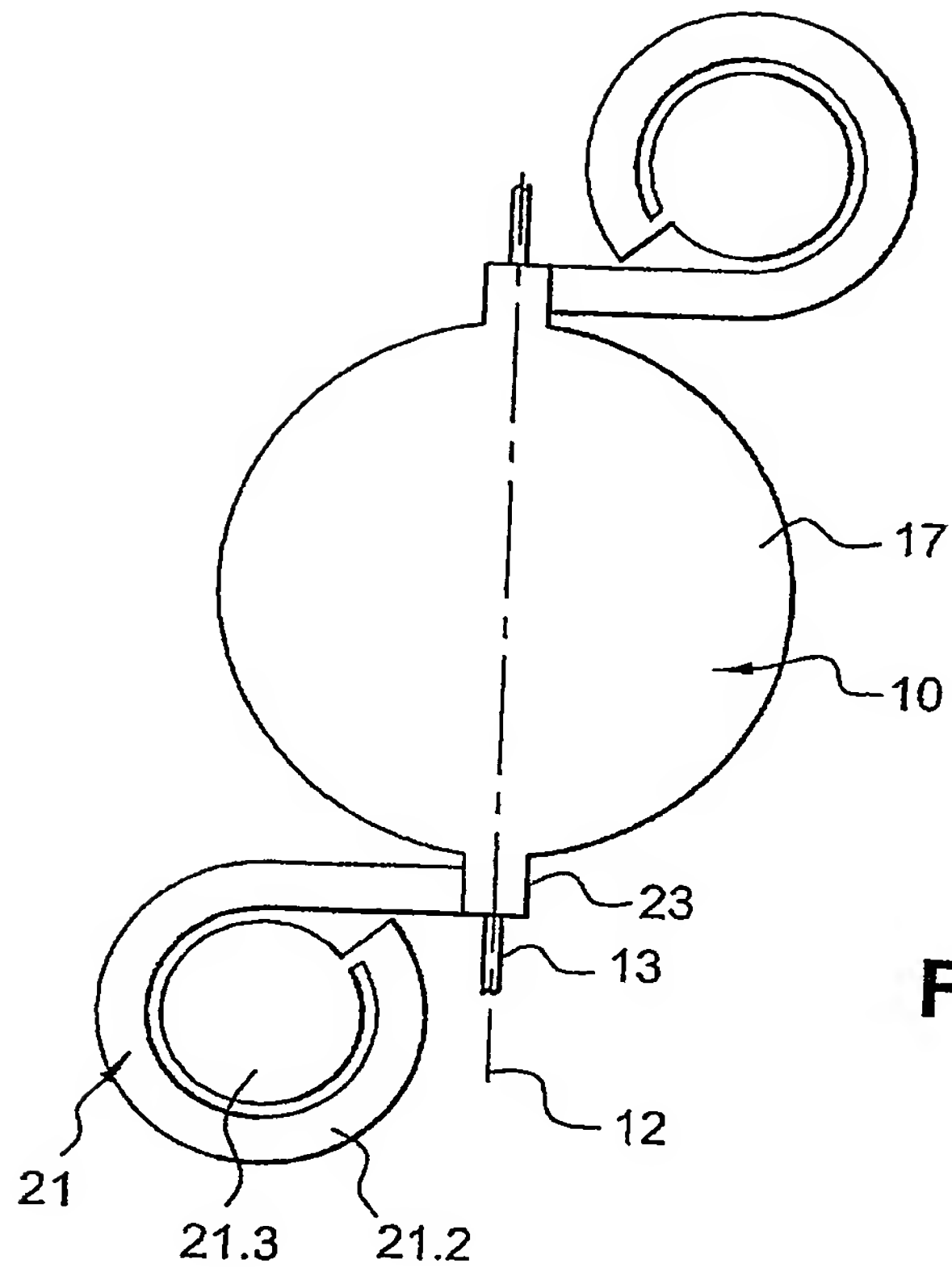


Fig. 6B







8 / 11

Fig. 11A

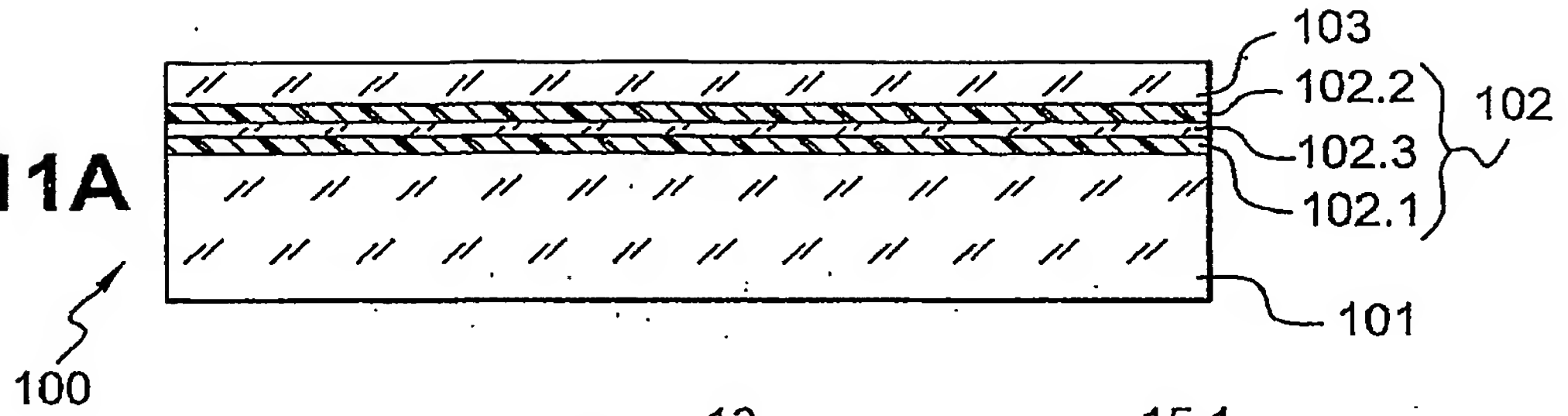


Fig. 11B

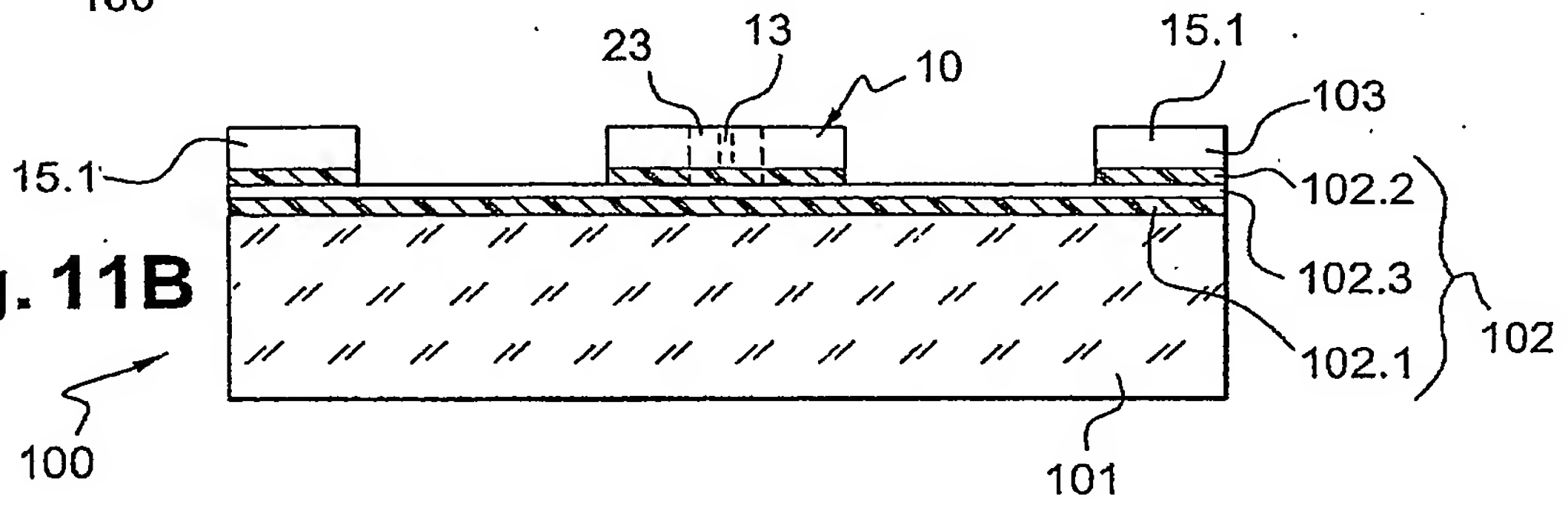


Fig. 11C

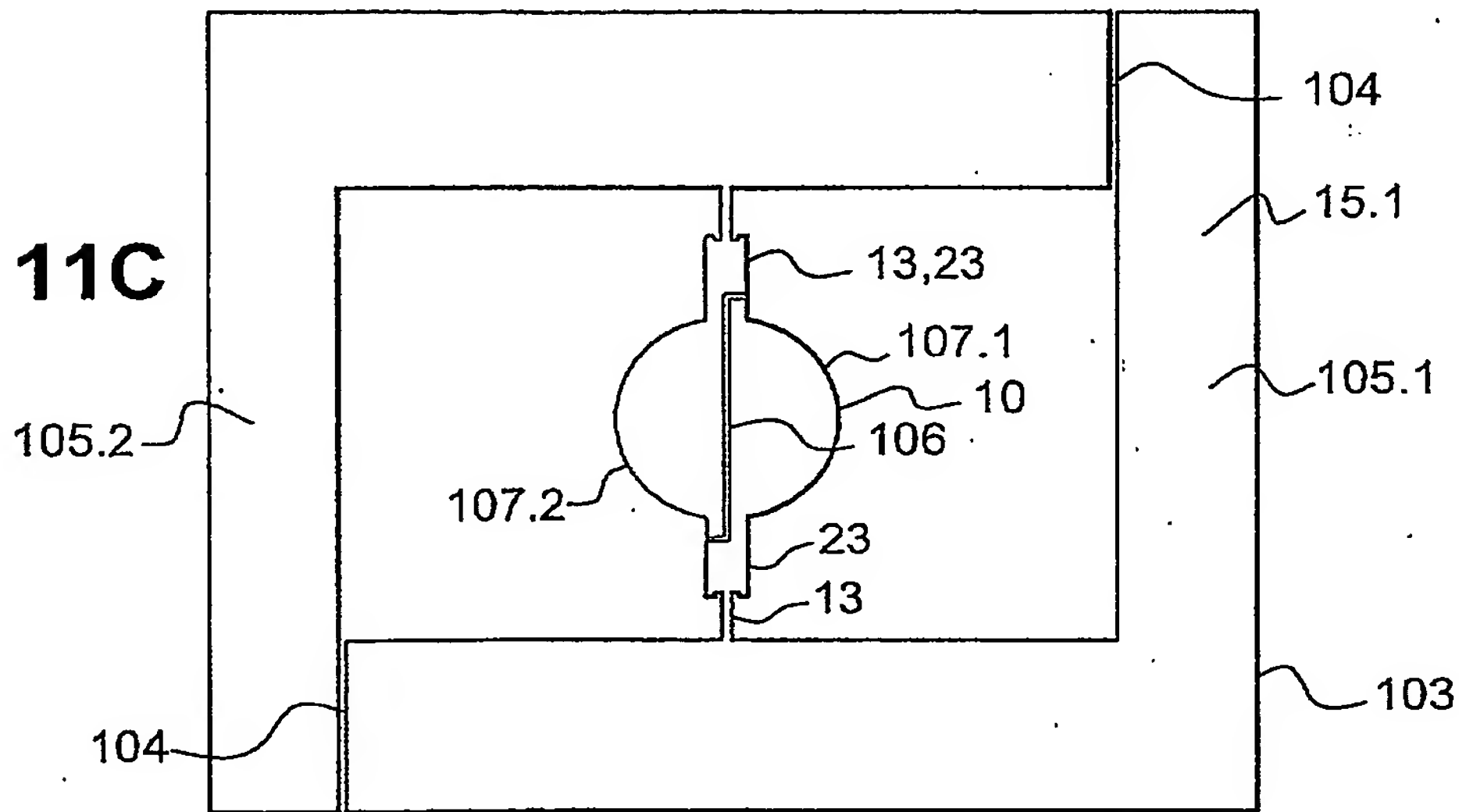


Fig. 11D

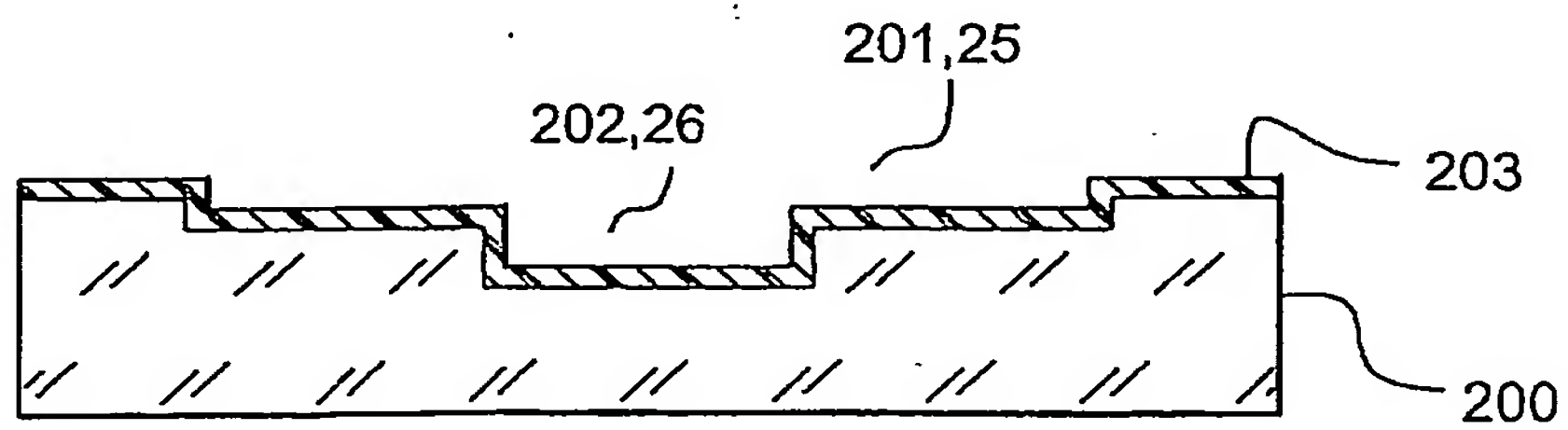


Fig. 11E

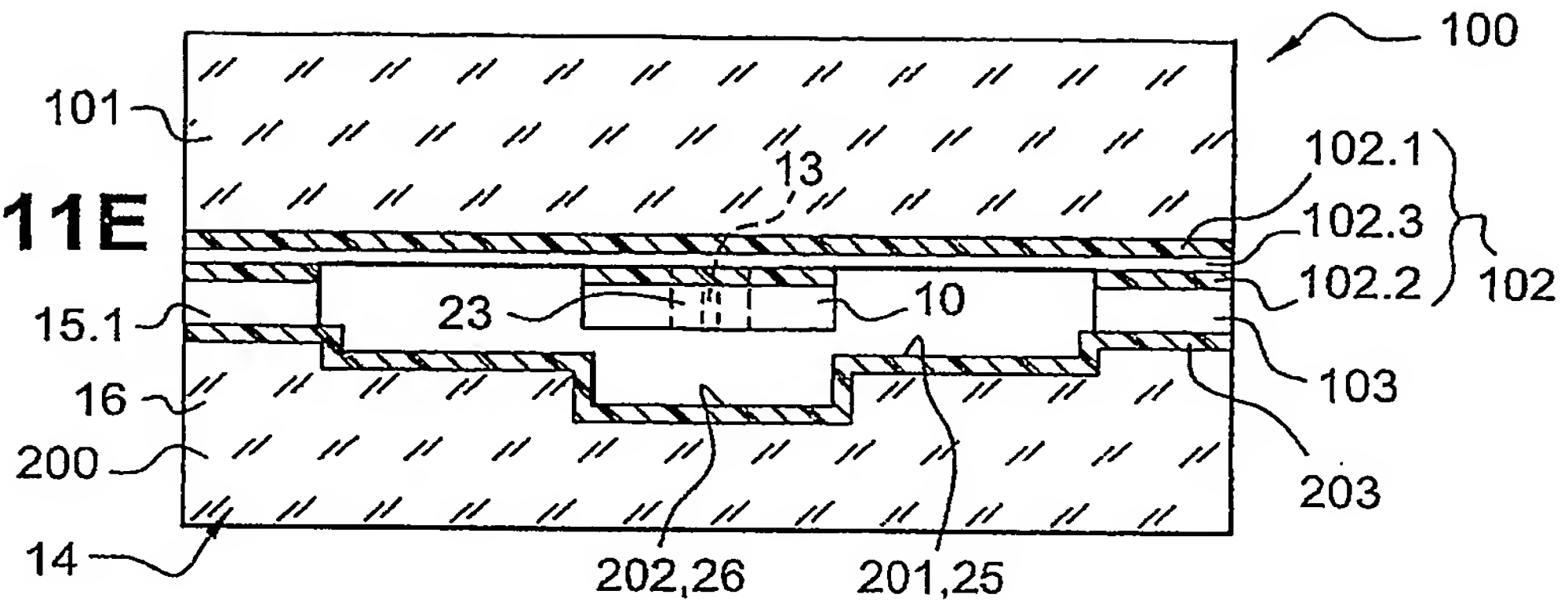


Fig. 11F

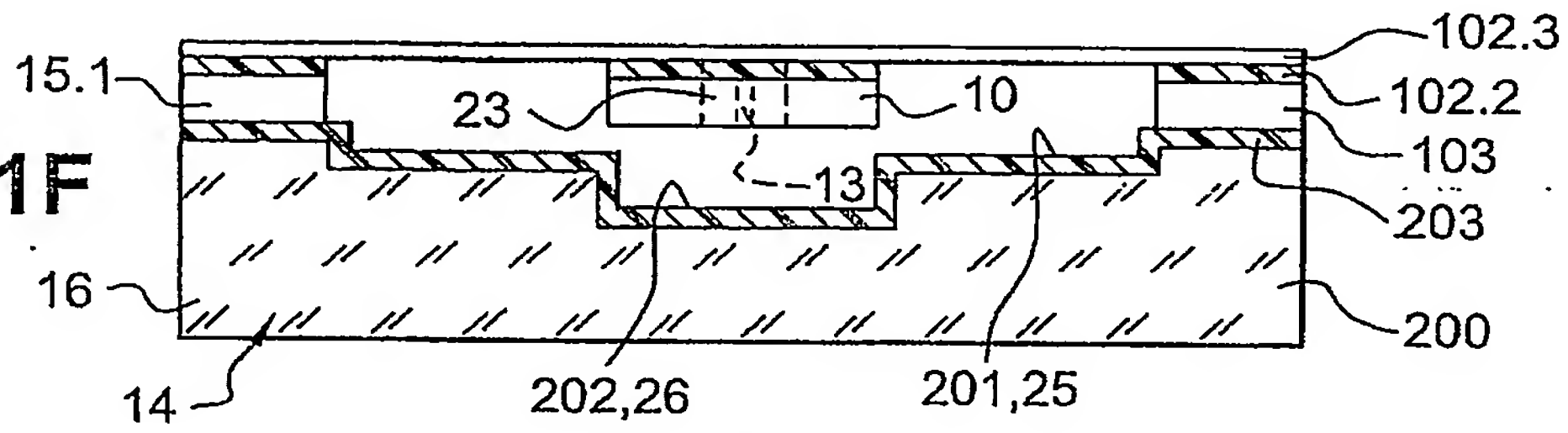
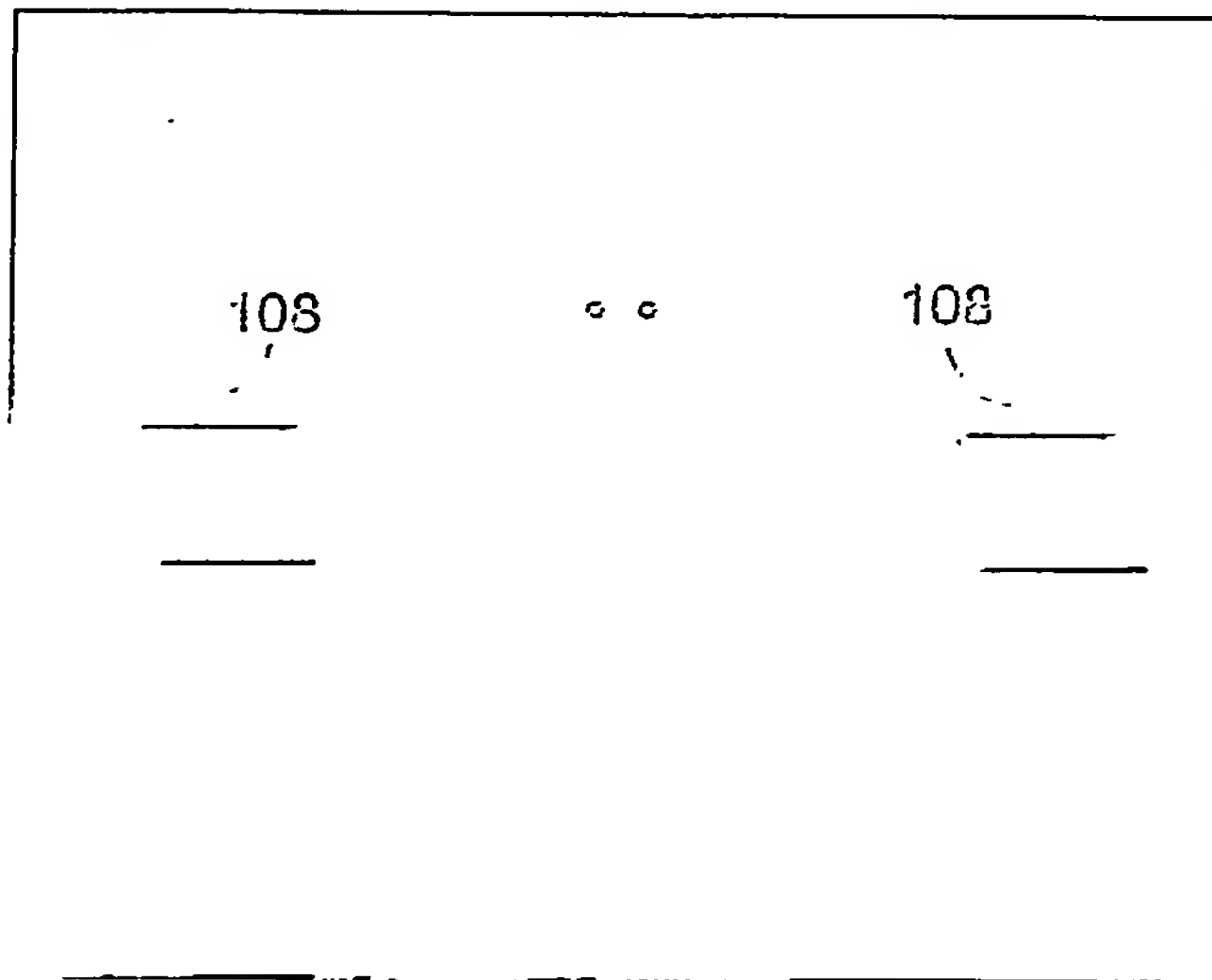
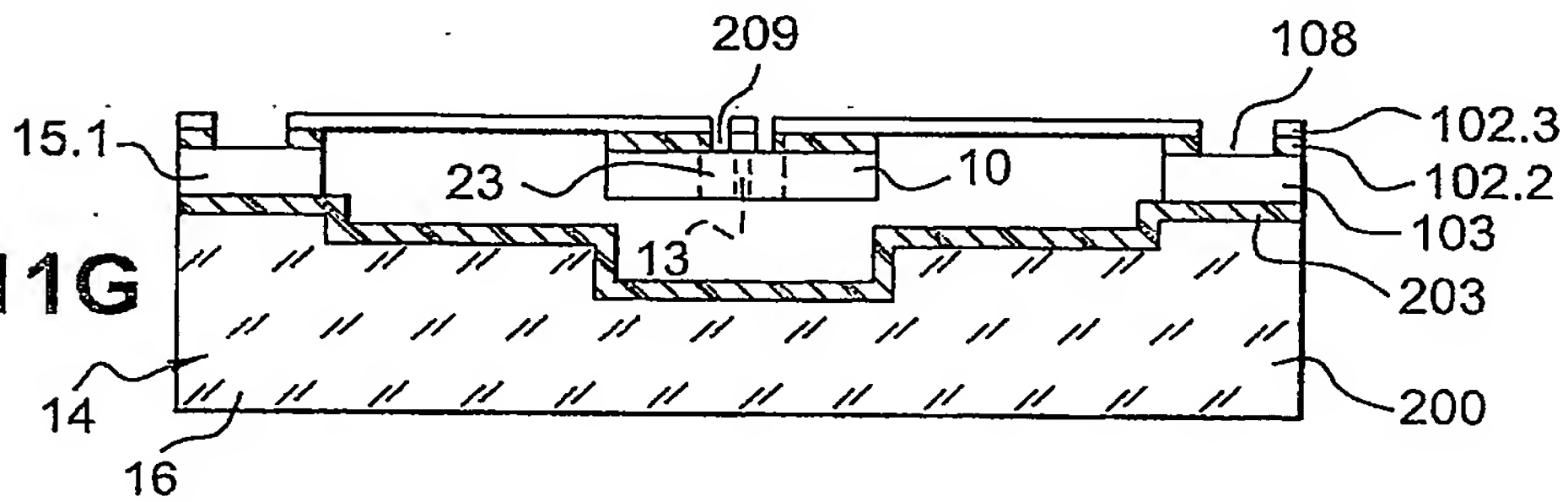


Fig. 11G



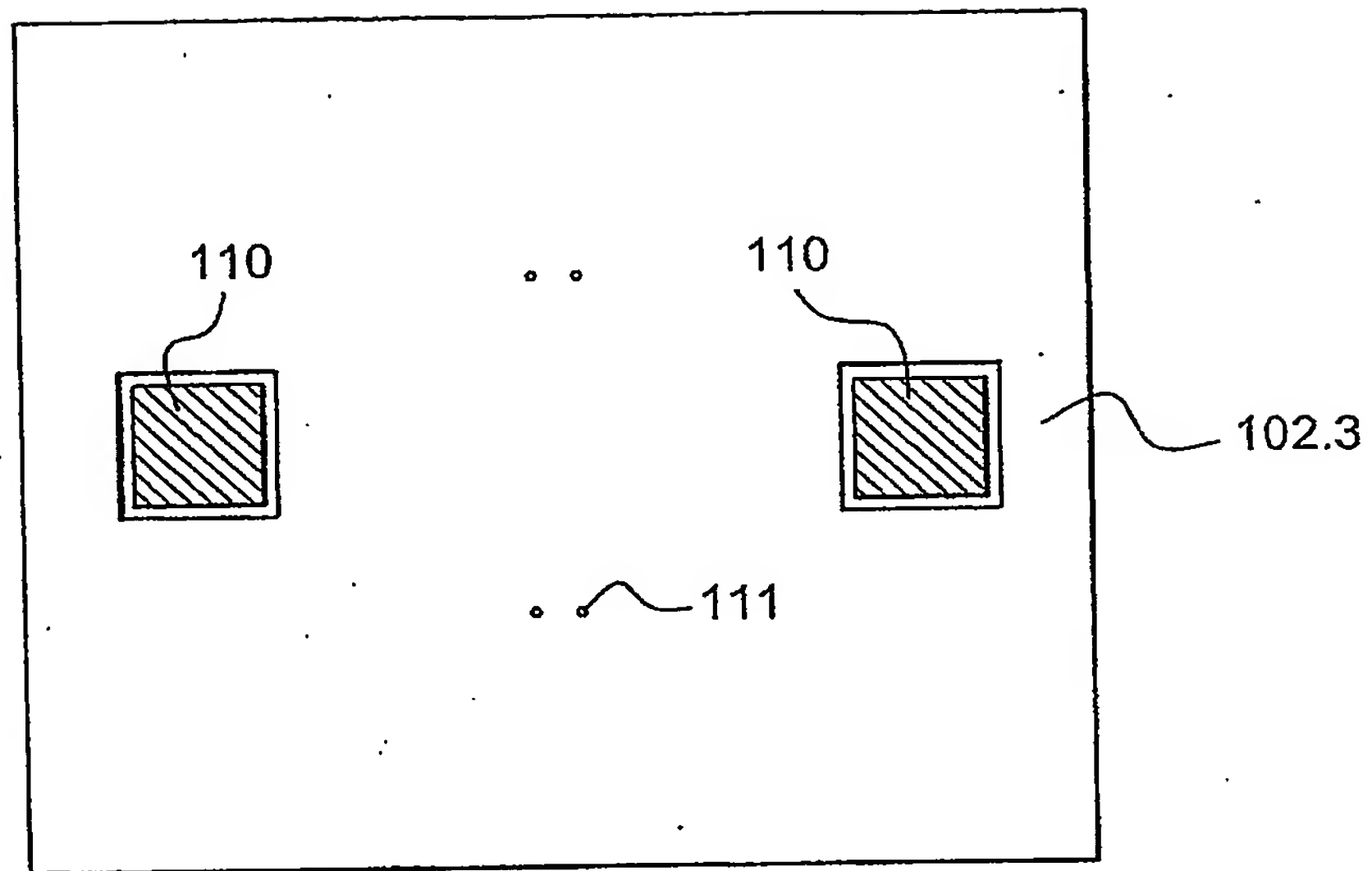


Fig. 11I

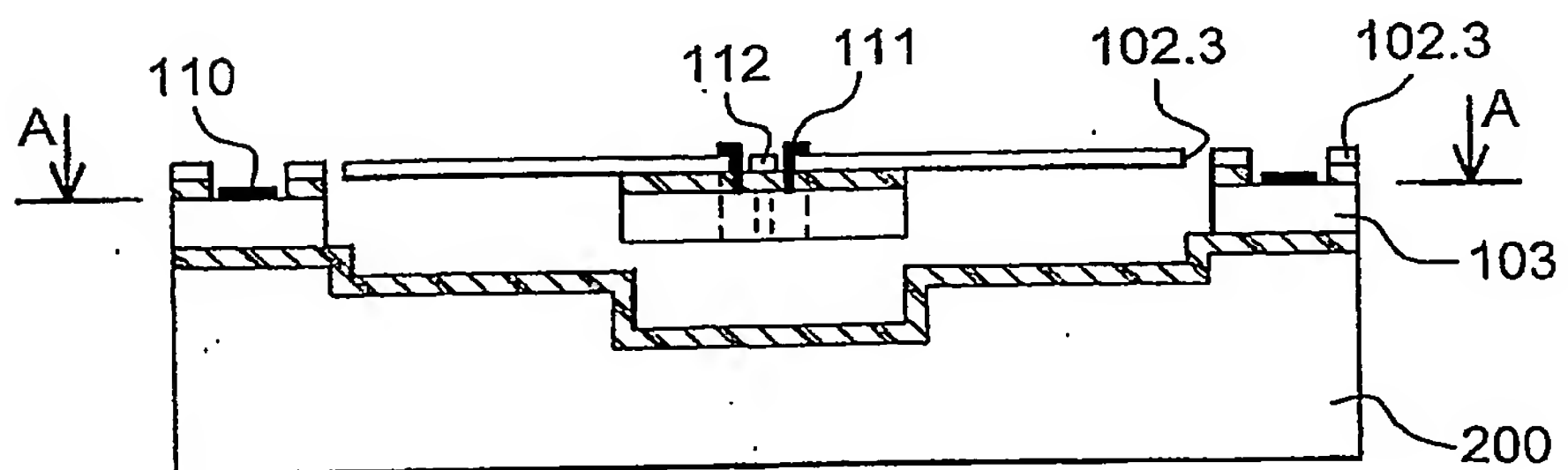


Fig. 11J

11/11

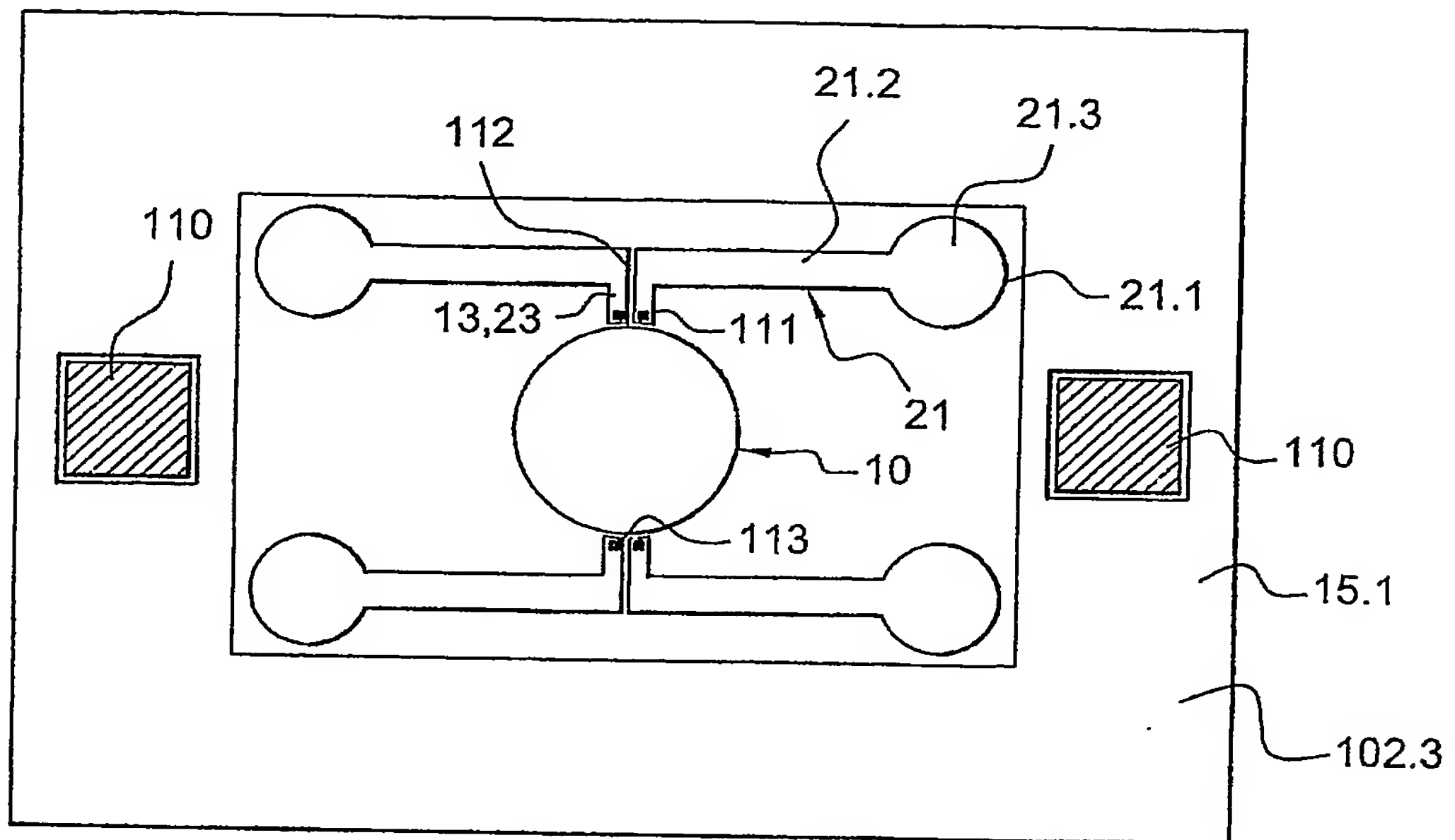
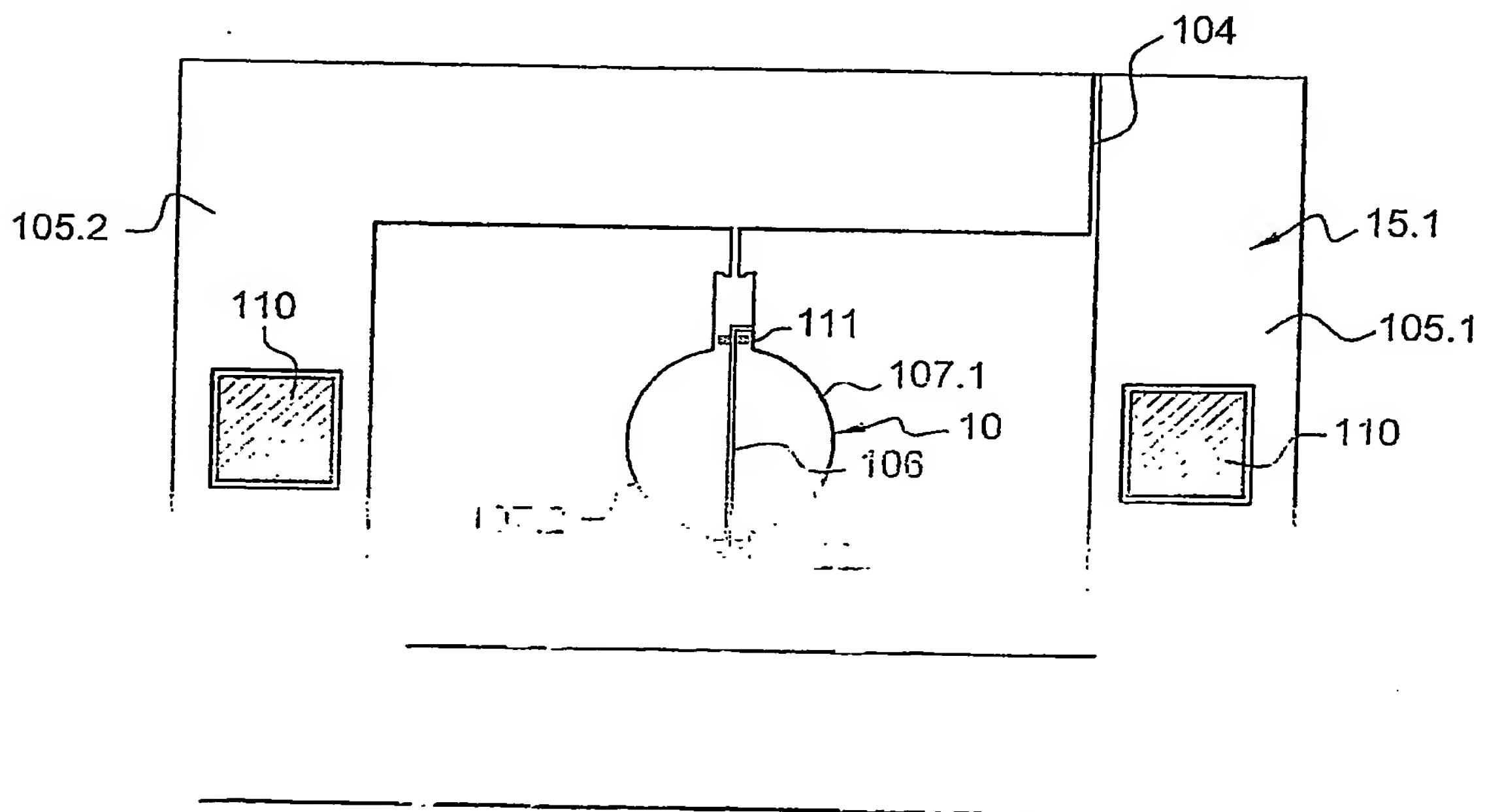


Fig. 11K





BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITE

Désignation de l'inventeur

Vos références pour ce dossier	B 14391 CS DD 2542
N°D'ENREGISTREMENT NATIONAL	0350508
TITRE DE L'INVENTION	
	MICRO-MIROIR ACTIONNABLE ELECTRIQUEMENT EN ROTATION
LE(S) DEMANDEUR(S) OU LE(S) MANDATAIRE(S):	
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S):	
Inventeur 1	
Nom	FILHOL
Prénoms	Fabien
Rue	50, rue Pierre Sémard
Code postal et ville	38000 GRENOBLE
Société d'appartenance	
Inventeur 2	
Nom	DIVOUX
Prénoms	Claire
Rue	8, rue Marceau
Code postal et ville	38000 GRENOBLE
Société d'appartenance	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

Signé par

Signataire: FR, Brevatome, J. Lehu

Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0

Fonction

Mandataire agréé (Mandataire 1)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.